



TUGAS AKHIR – TE141599

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA *FUTURE
NEW RING* PENGEMBANGAN *FEEDER OUTGOING*
TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR**

**Kezia Rut
NRP 2213 100 150**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT – TE141599

***STUDY OF PROTECTION COORDINATION IN
FUTURE NEW RING THE DEVELOPMENT OF
TURSINA FEEDER OUTGOING PT. PUPUK
KALIMANTAN TIMUR***

**Kezia Rut
NRP 2213 100 150**

**Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Studi Koordinasi Proteksi Pada *Future New Ring* Pengembangan *Feeder Outgoing* Tursina PT. Pupuk Kalimantan Timur**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Kezia Rut
NRP 2213100150

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA *FUTURE
NEW RING* PENGEMBANGAN *FEEDER OUTGOING*
TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

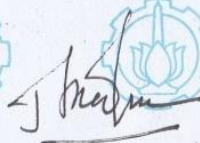
Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

NIP 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Ir. Ni Ketut Arvani, MT.

NIP 196509011991032002



Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

STUDI KOORDINASI PROTEKSI PADA *FUTURE NEW RING* PENGEMBANGAN *FEEDER OUTGOING* TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Nama : Kezia Rut
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRAK

Dalam dunia industri, kontinuitas proses produksi sangat ditentukan oleh ketersediaan listrik, kontinuitas tersebut dapat dijaga dengan menggunakan sistem proteksi tenaga listrik yang efektif dan selektif. Untuk meningkatkan produksi, PT. Pupuk Kalimantan Timur melakukan ekspansi dengan membangun *Future New Ring* yang merupakan pengembangan *feeder outgoing* Tursina. Pada *Future New Ring* akan dibangun pembangkit 5x34 MW untuk menyuplai kebutuhan energi listrik pabrik baru. Kemudian akan diintegrasikan dengan sistem eksisting melalui Bus Tursina 33 kV. Keadaan tersebut membuat *setting* koordinasi proteksi pada PT. Pupuk Kalimantan Timur mengalami perubahan dari keadaan sebelumnya. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dilakukan studi koordinasi proteksi untuk mengetahui *setting* rele yang tepat setelah dilakukan penambahan *Future New Ring*. Berdasarkan hasil simulasi koordinasi proteksi ini dapat melindungi dari gangguan berupa arus beban lebih dan arus hubung singkat di sistem *Future New Ring* maupun di sistem eksisting Tursina.

Kata kunci : koordinasi proteksi, penambahan beban, *setting* rele.

Halaman ini sengaja dikosongkan

***STUDY OF PROTECTION COORDINATION IN
FUTURE NEW RING THE DEVELOPMENT OF
TURSINA FEEDER OUTGOING PT. PUPUK
KALIMANTAN TIMUR***

Name : Kezia Rut
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRACT

In the industrial world, the continuity of the production is determined by the availability of electrical continuity, it can be filled by using the electric power system protection to fulfill the factor of effectiveness and selective. To increase production, PT. Pupuk Kalimantan Timur expanding their factory by build a New Future Ring which is the development Tursina feeder outgoing. In Future New Ring will be constructed 5x34MW generator to supply the new plant electrical energy. Then it will be integrated with existing system through Tursina bus 33 kV. These circumstances make PT.Pupuk Kalimantan Timur have to change the setting of protection coordination from its previous state.. Therefore, this thesis is focused on discussing the protection coordination studies to determine the appropriate relay setting after the addition of Future New Ring. The protection coordination have to protect from disruption of current overload and short circuit current.

Keywords: coordination of protection, increase the load, setting relay

~Halaman ini sengaja dikosongkan~

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena limpahan berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

Studi Koordinasi Proteksi pada *Future New Ring* Pengembangan Feeder Outgoing Tursina PT. Pupuk Kalimantan Timur

Tugas Akhir ini dikerjakan untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak selama masa penelitian ini sangatlah sulit bagi penulis untuk dapat menyelesaikannya. Oleh karenanya penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan Berkatnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua (Hendarto Sutarman dan Sri Maryati Suwirja) serta kedua adik saya (Kristin Rahel dan Katrina Ribka) dan seluruh keluarga yang selalu memberikan doa, dukungan, serta semangat kepada penulis.
3. Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT. dan Ir. Ni Ketut Aryani, MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan membantu penulis selama proses penelitian ini.
4. Seluruh dosen Teknik Elektro ITS yang telah membina dan memberikan ilmu kepada penulis selama menempuh studi di Teknik Elektro ITS.
5. Rekan-rekan asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) ITS.
6. Teman-teman seperjuangan angkatan 2013 selama kuliah di Teknik Elektro ITS.
7. Nugroho Wicaksono, Aidatul Khoiriaty, Dwi Wahyu Dyanita, Anisa Kusumaningrum, Sukma, Rizki Fadilla, Maisita Eka Listya Ningrum, Jofie Marshel, Albert Leonardo, Meylian

Sari, Yahya Nurhidayat, dan Andreas Simon yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan sehingga saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi semua pihak di masa sekarang maupun di masa yang akan datang.

Surabaya, 10 Desember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang Masalah.....	1
1.2	Perumusan Masalah	2
1.3	Tujuan	2
1.4	Metodologi.....	2
1.5	Sistematika Penulisan	5
1.6	Relevansi.....	5

BAB 2 KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

2.1	Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik	7
2.2	Gangguan Beban Lebih.....	8
2.3	Gangguan dan Analisis Hubung Singkat	8
2.4	Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	9
2.4.1	Hubung Singkat Tiga Fasa	9
2.4.2	Hubung Singkat Antar Fasa.....	9
2.4.3	Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	9
2.5	Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>).....	11
2.5.1	Rele Arus Lebih Waktu <i>Invers</i>	11
2.5.2	Rele Arus Lebih Waktu <i>Instan</i>	12
2.5.3	Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	14
2.6	Rele <i>Directional Over Current</i>	15
2.7	Penyetelan Rele Arus Lebih.....	15
2.7.1	Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	16
2.7.2	Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu <i>Instan</i>	17

2.7.3	Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu	18
2.8	Rele Gangguan ke Tanah (<i>Ground Fault Relay</i>)	18
2.9	Penyetelan Rele Gangguan ke Tanah	18

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN *FUTURE NEW RING* DAN TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

3.1	Sistem Kelistrikan <i>Future New Ring</i> dan Tursina	19
3.2	Kapasitas Pembangkitan	21
3.3	Sistem Distribusi	21
3.4	Data Beban	23
3.5	Data Saluran	24
3.6	Sistem Proteksi di <i>Future New Ring</i> Tursina	25

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PADA *FUTURE NEW RING* DAN TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

4.1	Pemodelan Sistem Kelistrikan	27
4.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	27
4.3	Pemilihan Tipikal Koordinasi	27
4.3.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Utama 1	30
4.3.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Utama 2	37
4.3.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Utama 3	42
4.3.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Utama 4	49
4.3.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Lain 1	63
4.3.6	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Lain 2	72
4.3.7	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Lain 3	83
4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah	93
4.4.1	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 1	93

4.4.2	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 2	96
4.4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 3	99
4.4.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 4	103
4.4.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 5	106
4.4.6	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 6	109

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	113
5.2 Saran.....	113

DAFTAR PUSTAKA 115

BIOGRAFI PENULIS 117

TABLE OF CONTENTS

TITLE

STATEMENT OF AUTHENTICITY SHEET LEMBAR CERTIFICATION SHEET

ABSTRCT (BAHASA).....	i
ABSTRACT.....	iii
PREFACE	v
TABLE OF CONTENTS.....	vii
LIST OF FIGURES.	xi
LIST OF TABLES.....	xv

CHAPTER 1 INTRODUCTION

1.1 Background.....	1
1.2 Problem.....	2
1.3 Purpose.....	2
1.4 Methodology.....	3
1.5 Writing Systematics.....	4
1.6 Relevance or Benefits.....	5

CHAPTER 2 PROTECTION COORDINATION ELECTRICAL SYSTEM

2.1 Basic of Protection in Electrical System.....	7
2.2 Overload Fault	8
2.3 Fault and Short Circuit Analysis.....	8
2.4 Calculation of Short Circuit Fault.....	9
2.4.1 Short Circuit of Three Phase	9
2.4.2 Short Circuit of Line to Line	9
2.4.3 Short Circuit of Line to Ground	9
2.5 Overcurrent Relay.....	11
2.5.1 Invers Time of Overcurrent Relay	11
2.5.2 Instant Time of Overcurrent Relay.....	12
2.5.3 Definite Time of Overcurrent Relay	14
2.6 Directional Relay Over Current.....	15

2.7	Setting of Overcurrent Relay	15
2.7.1	Setting of Invers Time in Overcurrent Relay	16
2.7.2	Setting of Instant Time in Overcurrent Relay.....	17
2.7.3	Coordination based on Time and Current.....	18
2.8	Groundfault Relay.....	18
2.9	Setting of Groundfault Relay	18

CHAPTER 3 ELECTRICITY SYSTEM OF FUTURE NEW RING DAN TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

3.1	Electricity System of Future New Ring and Tursina	19
3.2	Generation Capacity.....	21
3.3	Distribution System	21
3.4	Load Data.....	23
3.5	Channel Data.....	24
3.6	Protection System in Future New Ring and Tursina	25

CHAPTER 4 SIMULATION RESULTS AND PROTECTION COORDINATION ANALYSIS AT FUTURE NEW RING AND TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

4.1	PT. Pupuk Kalimantan Timur Electricity System's Modeling	27
4.2	Overcurrent Relay Coordination	27
4.3	Selection of Typical Coordination Protection	27
4.3.1	Overcurrent Relay Coordination Phase Fault Primary Typical 1	30
4.3.2	Overcurrent Relay Coordination Phase Fault Primary Typical 2	37
4.3.3	Overcurrent Relay Coordination Phase Fault Primary Typical 3	42
4.3.4	Overcurrent Relay Coordination Phase Fault Primary Typical 4	49
4.3.5	Overcurrent Relay Coordination Phase Fault Another Typical 1	63
4.3.6	Overcurrent Relay Coordination Phase Fault Another Typical 2	72
4.3.7	Overcurrent Relay Coordination Phase Fault Another Typical 3	83
4.4	Groundfault Relay Coordination.....	93

4.4.1 Groundfault Relay Coordination Typical 193

4.4.2 Groundfault Relay Coordination Typical 296

4.4.3 Groundfault Relay Coordination Typical 399

4.4.4 Groundfault Relay Coordination Typical 4103

4.4.5 Groundfault Relay Coordination Typical 5106

4.4.6 Groundfault Relay Coordination Typical 6109

CHAPTER 5 APPENDIX

5.1 Conclusion.....113

5.2 Sugestion.....113

REFERENCES115

BIOGRAFY117

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Diagram metodologi pengerjaan tugas akhir.....	4
Gambar 2. 1	Arus gangguan hubung singkat ke titik gangguan yang berkontribusi oleh beberapa sumber.....	8
Gambar 2. 2	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu <i>Invers</i>	12
Gambar 2. 3	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu <i>Instan</i>	13
Gambar 2. 4	Kombinasi Rele Arus Lebih Waktu <i>Invers</i> Rele Arus Lebih Waktu <i>Instan</i>	14
Gambar 2. 5	Karakteristik <i>Directional Over Current Relay</i>	15
Gambar 2. 6	Rele Arus Lebih Pengaman Trafo.....	17
Gambar 3.1	<i>Single line diagram</i> PT KDM Utility Center.....	19
Gambar 3.2	<i>Single line diagram</i> sistem eksisting Tursina.....	20
Gambar 3. 3	<i>Single line diagram Future New Ring</i>	20
Gambar 4. 1	Skema Koordinasi Tipikal di <i>Future New Ring</i>	28
Gambar 4. 2	Skema Koordinasi Tipikal di Tursina.....	29
Gambar 4. 3	Tipikal Utama 1 <i>Future New Ring</i>	30
Gambar 4. 4	<i>Time-Current Characteristic Curve</i> Tipikal Utama 1 dalam <i>ampere</i>	35
Gambar 4. 5	<i>Time-Current Characteristic Curve</i> Tipikal Utama 1 dalam satuan <i>per unit</i> (p.u.).....	36
Gambar 4. 6	Tipikal Utama 2 <i>Future New Ring</i>	37
Gambar 4. 7	<i>Time-Current Characteristic Curve</i> Tipikal Utama 2.....	41
Gambar 4. 8	Tipikal Utama 3 <i>Future New Ring</i>	42
Gambar 4. 9	<i>Time-Current Characteristic Curve</i> Tipikal Utama 3 dalam <i>ampere</i>	47
Gambar 4. 10	<i>Time-Current Characteristic Curve</i> Tipikal Utama 3 dalam satuan <i>per unit</i>	48
Gambar 4. 11	Tipikal Utama 4 <i>Future New Ring</i>	49
Gambar 4. 12	<i>Time-Current Characteristic Curve</i> Tipikal Utama 4A.....	56
Gambar 4. 13	<i>Time-Current Characteristic Curve</i> Tipikal Utama 4B.....	61
Gambar 4. 14	<i>Time-Current Characteristic Curve Relay Trafo Directional</i>	62

Gambar 4. 15	Tipikal Lain 1 Tursina.....	633
Gambar 4. 16	Hasil simulasi <i>sequence of operation</i> Tipikal Lain 1.....	64
Gambar 4. 17	Plot TCC eksisting Tipikal Lain 1.....	64
Gambar 4. 18	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal Lain 1 dalam satuan ampere.....	70
Gambar 4. 19	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal Lain 1 dalam satuan <i>per unit</i> (p.u.).....	71
Gambar 4. 20	Tipikal Lain 2 Tursina.....	72
Gambar 4. 21	<i>Time-Current Characteristic Curve Eksisting</i> Tipikal Lain.....	73
Gambar 4. 22	Hasil simulasi <i>sequence of operation</i> Tipikal Lain 2.....	74
Gambar 4. 23	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal Lain 2 dalam <i>ampere</i>	81
Gambar 4. 24	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal Lain 2 dalam satuan <i>per unit</i> (p.u.).....	82
Gambar 4. 25	Tipikal Lain 3 Tursina.....	83
Gambar 4. 26	<i>Time-Current Characteristic Curve Eksisting</i> Tipikal Lain 3.....	84
Gambar 4. 27	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal Lain 3 dalam <i>ampere</i>	91
Gambar 4. 28	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal Lain 3 dalam satuan <i>per unit</i> (p.u.).....	92
Gambar 4. 29	<i>Single line diagram</i> Tipikal 1.....	93
Gambar 4. 30	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal 1.....	95
Gambar 4. 31	<i>Single line diagram</i> Tipikal 2.....	96
Gambar 4. 32	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal 2.....	98
Gambar 4. 33	<i>Single line diagram</i> Tipikal 3.....	99
Gambar 4. 34	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal 3.....	102

Gambar 4. 35	<i>Single line diagram</i> Tipikal 4.....	103
	3	
Gambar 4. 36	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal 4.....	105
	5	
Gambar 4. 37	<i>Single line diagram</i> Tipikal 5	106
	6	
Gambar 4. 38	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal 5.....	109
	9	
Gambar 4. 39	<i>Single line diagram</i> Tipikal 6.....	110
	0	
Gambar 4. 40	<i>Time-Current Characteristic Curve resetting</i> Tipikal 6.....	112

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Gangguan Hubung Singkat	10
Tabel 2. 2 <i>Koefisien Type Curve</i>	16
Tabel 3.1 Data kapasitas pembangkit di PT Pupuk Kalimantan Timur	21
Tabel 3. 2 Data <i>level</i> tegangan bus di <i>Future New Ring</i>	21
Tabel 3. 3 Data <i>level</i> tegangan bus di sistem eksisting Tursina	22
Tabel 3. 4 Data transformator di <i>Future New Ring</i>	23
Tabel 3. 5 Data transformator di sistem eksisting Tursina	23
Tabel 3. 6 Data beban di <i>Future New Ring</i>	24
Tabel 3. 7 Data beban di sistem eksisting Tursina	24
Tabel 3. 8 Data Saluran di <i>Future New Ring</i>	25
Tabel 3. 9 Data saluran di sistem eksisting Tursina	25

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kontinuitas pasokan daya pada suatu industri sangat diperlukan untuk memastikan proses produksi tetap terlaksana, maka diperlukan suatu sistem koordinasi proteksi yang baik. Diharapkan ketika terjadi gangguan maka pemutus atau *circuit breaker* (CB) yang terletak paling dekat dengan titik gangguan dapat bekerja terlebih dahulu. Ketika CB yang paling dekat dengan titik gangguan mengalami kegagalan maka CB *backup* akan segera bekerja sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

PT. Pupuk Kalimantan Timur merupakan anak perusahaan PT. Pupuk Indonesia Holding Company yang terletak di Bontang, Kalimantan Timur. Perusahaan ini bergerak dibidang industri kimia dengan mengolah gas alam menjadi pupuk. Sejak berdiri pada tahun 1977, pengembangan pabrik terus dilakukan hingga saat ini telah memiliki tujuh pembangkit listrik (Kaltim-1 16 MW (*Off*), Kaltim-2 36.4 MW, Kaltim-3 30 MW, Kaltim-4 21.6 MW, Kanibungan 30 MW, KDM 34 MW, Tanjung Harapan 30 MW). Masing-masing pembangkit diintegrasikan melalui suatu *ring bus* pada tegangan 33 kV untuk mensuplai daya listrik pada beban pabrik PT. Pupuk Kalimantan Timur (Kaltim-1, Kaltim-2, Kaltim-3, Kaltim-4, Kanibungan, KDM, SS4, Tanjung Harapan dan Tursina-Load).

Saat ini PT. Pupuk Kalimantan Timur melakukan ekspansi dengan membangun *Future New Ring* yang merupakan pengembangan *feeder outgoing* Tursina untuk meningkatkan produksi. Pada sistem integrasi baru akan dibangun pembangkit 5x34 MW untuk menyuplai kebutuhan energi listrik pabrik baru dan akan dihubungkan dengan sistem integrasi eksisting melalui Bus Tursina 33 kV. Sehingga dibutuhkan koordinasi proteksi untuk mengamankan sistem baik pada *Future New Ring* maupun pada sistem eksisting Tursina dari kemungkinan gangguan yang terjadi.

Dengan demikian pada Tugas Akhir dilakukan studi koordinasi proteksi untuk mengetahui *setting* rele yang tepat setelah dilakukan pengembangan pada *feeder* Tursina. Hasil koordinasi proteksi ini dapat melindungi dari gangguan berupa arus beban lebih dan arus hubung singkat.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Sistem kelistrikan di PT Pupuk Kalimantan Timur setelah dibangun *Future New Ring* pada *feeder outgoing* Tursina.
2. Studi mengenai aliran daya dan besar arus hubung singkat pada PT Pupuk Kalimantan Timur setelah dibangun *Future New Ring* pada *feeder outgoing* Tursina.
3. Koordinasi rele arus lebih, rele arah dan rele gangguan ke tanah pada *typical* yang ditentukan di PT Pupuk Kalimantan Timur dengan menggunakan nilai yang didapatkan dari perhitungan kemudian disimulasikan.

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan sebagai berikut:

1. Memodelkan, mensimulasikan serta menganalisis sistem kelistrikan pada *Future New Ring* PT. Pupuk Kalimantan Timur.
2. Mendapatkan *setting* dari koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah yang tepat pada sistem kelistrikan *Future New Ring* PT. Pupuk Kalimantan Timur.
3. Mendapatkan *setting* dari koordinasi rele arus lebih, rele arah dan rele gangguan ke tanah yang tepat pada sistem kelistrikan Tursina akibat pembangunan *Future New Ring* di PT. Pupuk Kalimantan Timur.

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Studi Literatur
Mengumpulkan dan mempelajari buku serta referensi yang berhubungan dengan koordinasi proteksi. Hal ini dilakukan untuk menambah pemahaman mengenai permasalahan yang dihadapi dan mengetahui langkah-langkah dalam menyelesaikan permasalahan tersebut.
2. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data-data mengenai sistem kelistrikan di *Futruue New Ring* dan Tursina PT Pupuk Kalimantan Timur meliputi *single line diagram* dan data-data peralatan lainnya.

3. Pemodelan Sistem

Memodelkan sistem kelistrikan *Futre New Ring* dan Tursina PT Pupuk Kalimantan Timur. Pemodelan sistem dilakukan agar dapat melakukan simulasi untuk mengetahui aliran daya dan besarnya arus gangguan hubung singkat.

4. Simulasi dan Review

Simulasi dilakukan untuk mengetahui aliran daya, tegangan setiap bus dan gangguan hubung singkat. Nilai arus hubung singkat yang dibutuhkan adalah arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum pada setiap bus. Nilai arus gangguan hubung singkat maksimum adalah gangguan hubung singkat 3 fasa sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah gangguan hubung singkat antar fasa. Nilai arus tersebut nantinya akan digunakan untuk menentukan *setting* rele proteksi. Kemudian rele-rele yang sudah di *setting* dapat kita plot ke dalam *Time-Current Characteristic Curve*.

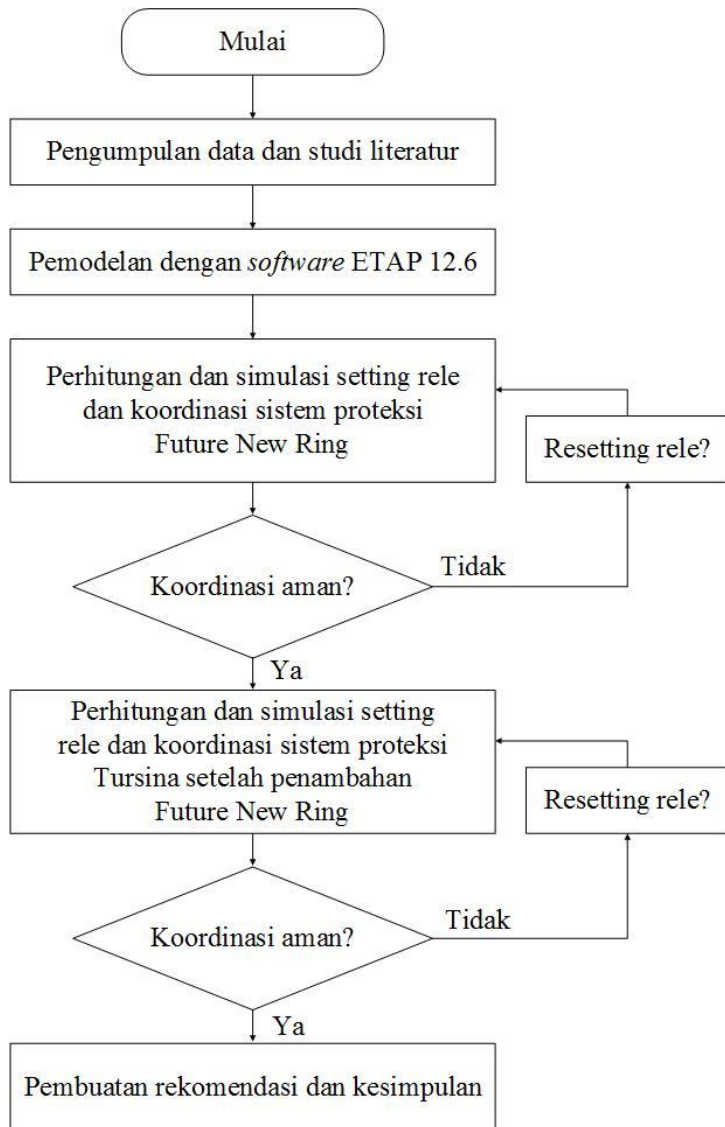
5. Analisis Simulasi

Dari simulasi akan didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* yang akan kita analisis apakah koordinasi proteksi dari *Futre New Ring* dan Tursina sudah tepat.

6. Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Laporan tugas akhir berisi hasil analisis koordinasi proteksi. Dengan nilai yang telah didapatkan diharapkan sistem proteksi dapat bekerja dengan cepat dan tepat.

Diagram metodologi pengerjaan dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Diagram metodologi pengerjaan tugas akhir

1.5 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini akan terbagi atas 5 bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab 1 : PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang permasalahan, tujuan, serta manfaat dari tugas akhir ini, penjabaran mengenai metodologi pengerjaan dan sistematika penulisan.

Bab 2 : KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

Bab ini menjabarkan mengenai teori-teori dan kajian pustaka yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

Bab 3 : SISTEM KELISTRIKAN *FUTURE NEW RING* DAN TURSINA PT. PUPUK KALTIM

Bab ini menjelaskan mengenai sistem kelistrikan eksisting pada *Future New Ring* yang merupakan pengembangan *Feeder Outgoing* Tursina PT. Pupuk Kaltim

Bab 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PADA *FUTURE NEW RING* DAN TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan dibahas pada bab ini dengan rekomendasi *setting* rele untuk koordinasi proteksi pada *Future New Ring* yang merupakan pengembangan *Feeder Outgoing* Tursina PT. Pupuk Kaltim

Bab 5 : PENUTUP

Bab ini berisi saran dan kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

1.6 Relevansi

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dipakai sebagai masukan bagi PT. Pupuk Kalimantan Timur dalam melakukan koordinasi proteksi rele arus lebih, rele arah dan rele gangguan ketanah akibat pembangunan *Future new ring* pada *feeder outgoing* Tursina.
2. Dapat menjadi referensi mengenai studi koordinasi rele arus lebih, rele arah dan rele gangguan ke tanah bagi mahasiswa yang akan mengerjakan Tugas Akhir dengan permasalahan yang serupa.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

Koordinasi proteksi dalam sistem tenaga listrik berperan penting untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat terjadinya gangguan. Ketika terjadi gangguan dalam sistem tenaga listrik, sistem proteksi harus mampu mengisolir arus gangguan agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan dan kontinuitas pelayanan tetap terjaga.

2.1 Dasar Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi dalam suatu sistem kelistrikan merupakan salah satu hal terpenting untuk menjaga kelangsungan proses produksi dan menjaga keamanan pekerja. Suatu sistem kelistrikan dikatakan stabil apabila memenuhi aspek keandalan dan kontinuitas, untuk mencapai aspek-aspek tersebut dibutuhkan suatu koordinasi proteksi yang dapat mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan pada aspek tersebut. Koordinasi proteksi dapat dilakukan dengan cara melakukan *setting* pada rele proteksi agar mengisolir arus gangguan dengan menggerakkan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) untuk mencegah kerusakan pada peralatan dan menjaga aliran daya agar tidak terputus.

Pemilihan rele proteksi juga memperhatikan beberapa aspek, yaitu: proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal [1]. Pada umumnya digunakan rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah untuk mengatasi gangguan yang terjadi di industri.

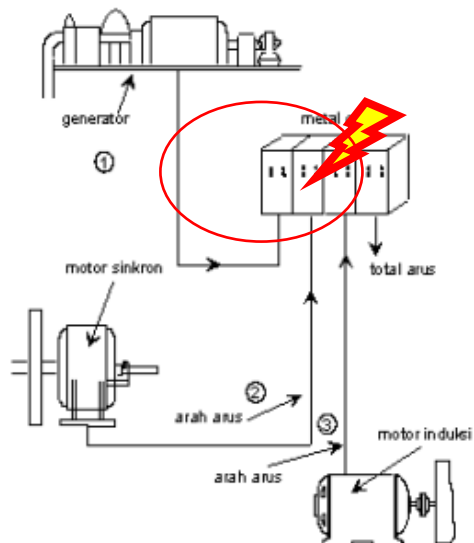
Koordinasi proteksi juga dibagi dalam beberapa area proteksi dengan peralatan yang tepat agar dapat mengatasi gangguan yang mungkin terjadi pada peralatan dan generator [2]. Koordinasi proteksi dapat diklasifikasikan menjadi dua zona, yaitu: zona primer dan zona *backup*. Zona primer merupakan sistem pengaman utama terhadap gangguan dan beroperasi pertama untuk mengisolasi gangguan. Zona primer umumnya didominasi oleh rele berkecepatan tinggi dengan waktu operasi 1 hingga 3 *cycle*. Jika sesaat setelah gangguan, arus gangguan masih mengalir, maka zona *backup* akan bekerja dengan melakukan *trip circuit breaker* terdekat dari zona primer.

2.2 Gangguan Beban Lebih

Arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diijinkan ($I > I_n$) dan terjadi secara terus-menerus serta melebihi kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang akan mengakibatkan suatu gangguan dan merusak peralatan listrik yang terpasang.

2.3 Gangguan dan Analisis Hubung Singkat

Dalam mencari *setting* rele yang tepat, diperlukan analisis aliran daya dan analisis hubung singkat pada sistem kelistrikan ketika terjadi arus gangguan. Gangguan hubung singkat, terbagi menjadi gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri. Gangguan hubung singkat simetri meliputi: gangguan hubung singkat tiga fasa. Sedangkan, gangguan hubung singkat tidak simetri meliputi: gangguan antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah. Saat terjadi hubung singkat, maka titik gangguan akan menerima arus dari beberapa sumber yaitu generator, *utility*, motor sinkron, dan motor induksi. Arah aliran arus gangguan hubung singkat dapat dijelaskan pada Gambar 2.1.[3]:



Gambar 2. 1 Arus gangguan hubung singkat ke titik gangguan yang berkontribusi oleh beberapa sumber [3]

2.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan praktis untuk menghitung arus hubung singkat [4] dapat dilakukan dengan rumusan sebagai berikut:

2.4.1 Hubung Singkat Tiga Fasa

Hubung singkat tipe ini adalah hubung singkat yang melibatkan ketiga fasa. Sedangkan nilai arus hubung singkat tiga fasa (I_{SC_3}) didapatkan dari persamaan (1):

$$I_{SC_3} = \frac{V_{LN}}{X_1} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- V_{LN} merupakan tegangan *line to netral*
- X_1 adalah reaktansi urutan positif.

2.4.2 Hubung Singkat Antar Fasa

Tipe hubung singkat ini adalah hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Nilai arus hubung singkat (I_{SC_2}) didapatkan dari persamaan (2):

$$I_{SC_2} = \frac{V_{LN}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{SC_3} \approx 0,866 I_{SC_3} \dots \dots \dots (2)$$

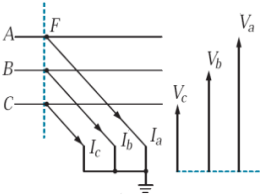
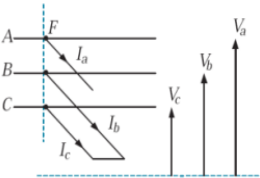
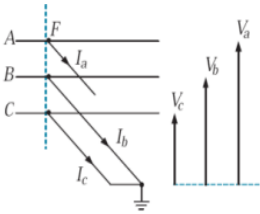
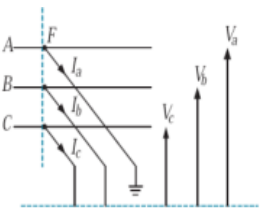
2.4.3 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan hubung singkat yang melibatkan impedansi urutan nol (Z_0) dan besarnya arus hubung singkat bergantung pada sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa (I_{SC_0}) didapatkan dari persamaan (3):

$$I_{SC_0} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots \dots \dots (3)$$

Pada Tabel 2.1 dapat kita lihat rangkaian gangguan hubung singkat beserta arus gangguan yang terjadi.

Tabel 2. 1 Tabel Gangguan Hubung Singkat

Gangguan Hubung Singkat	RangkaianHubung Singkat	Persamaan
3 fasa ke tanah		$I_{sc3} = \frac{V_f}{X_1}$
Antar fasa		$I_{sc2} = \left \pm j \frac{\sqrt{3}V_f}{X_1 + X_2} \right $
2 fasa ke tanah		$I_{sc2} = \frac{V_f}{X_1 + X_2 \frac{X_0}{X_2 + X_0}}$
1 fasa ke tanah		$I_{sc0} = \frac{3V_f}{X_1 + X_2 + X_0}$

2.5 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih merupakan rele yang beroperasi ketika adanya arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan dengan memberikan sinyal kepada *circuit breaker* untuk bekerja. Rele akan bekerja dengan kondisi sebagai berikut [2]:

- Rele bekerja (*trip*) ketika $I_f > I_p$
- Rele tidak bekerja (*block*) ketika $I_f < I_p$

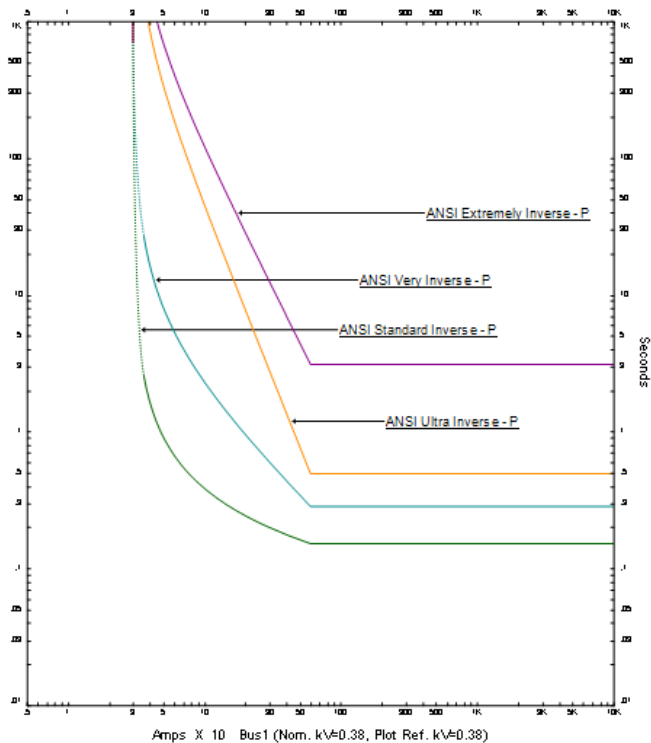
Nilai I_p dan I_f dinyatakan terhadap gulungan sekunder trafo arus (CT), dengan I_p merupakan arus kerja dan I_f merupakan arus gangguan. Rele arus lebih dipergunakan untuk melindungi semua bagian pada sistem kelistrikan. Penggunaan rele arus terhadap waktu lebih terbagi atas: Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *instan*, dan dan Rele arus lebih waktu *inverse*.

Berdasarkan IEEE 242 mengenai koordinasi proteksi rele arus lebih, diberikan perbedaan waktu minimum antara 0,3 detik sampai dengan 0,4 detik untuk rele arus lebih pada umumnya. Sedangkan untuk rele digital berbasis mikroprosesor berkisar antara 0,2 hingga 0,3 detik. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa zona *backup* dapat bekerja bila zona primer gagal bekerja, dan menghindari kemungkinan terjadinya *trip* secara serentak.

2.5.1 Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Prinsip kerja rele arus lebih waktu *invers* adalah waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Sehingga, semakin besar arus gangguan yang terjadi maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, begitupula sebaliknya. Rele arus lebih ini dapat dijelaskan pula oleh kurva TCC (*time current characteristic*), dimana kurva TCC merupakan kurva dalam skala *time dial*.

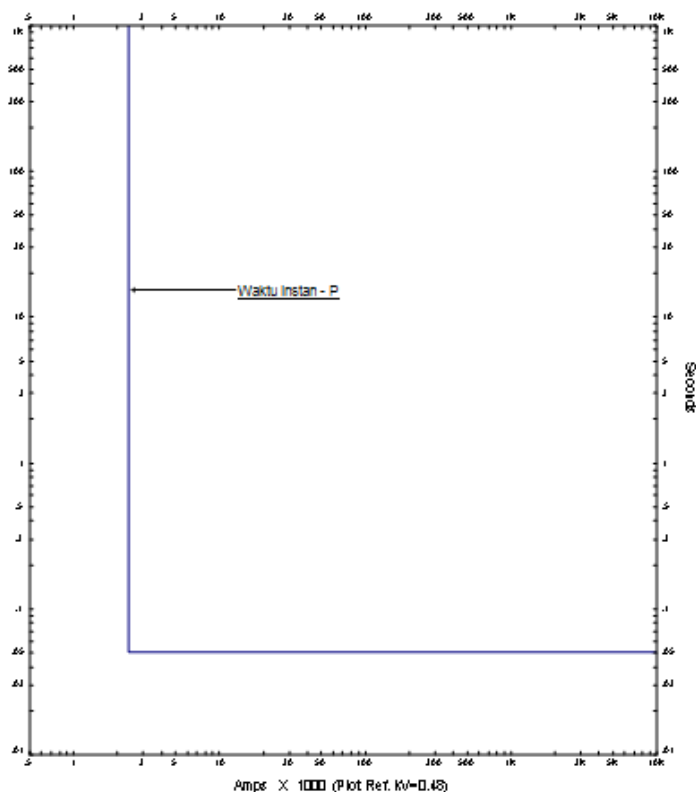
Berdasarkan standar IEC 60255 dan standar British BS-142, menjelaskan karakteristik *invers* beserta perlindungan waktu *invers* dalam perbedaan gradien kurvanya, dimana semakin besar arus akan membuat waktu operasi berjalan lambat seolah mendekati waktu minimumnya. Pada Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu *invers* berdasarkan standar ANSI, yaitu : *extremely inverse*, *very inverse*, *long time inverse*, *standard inverse*, dan *ultra inverse*.



Gambar 2. 2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu *Invers* [3]

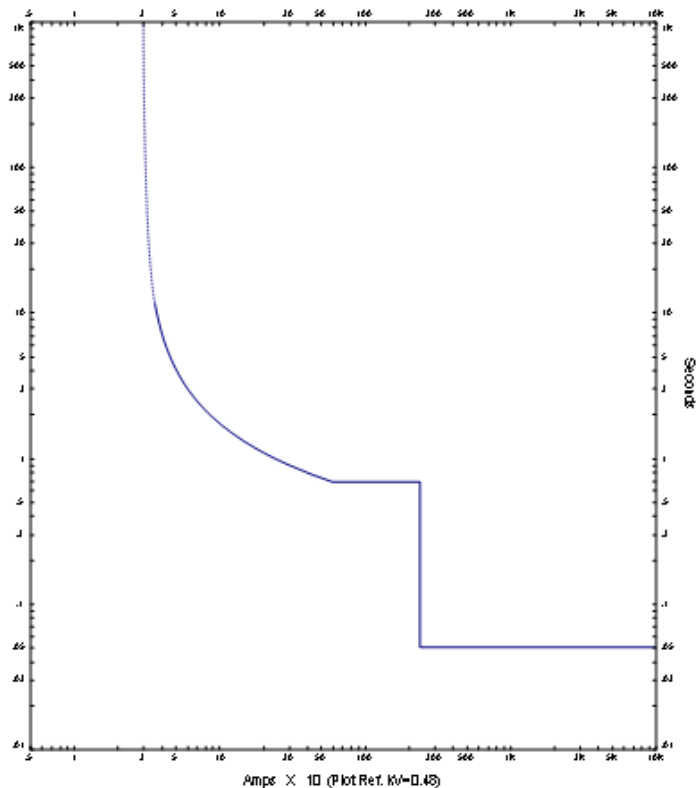
2.5.2 Rele Arus Lebih Waktu *Instan*

Rele arus lebih waktu *instan* adalah rele yang bekerja tanpa adanya penundaan waktu ketika mencapai *pickup set point* namun masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1 detik dan kurang dari 0,08 detik, seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu *Instan*

Rele arus lebih bekerja berdasarkan arus gangguan hubung singkat yang ditentukan dan waktu bekerja *Circuit Breaker* dalam waktu yang cepat (0.8 detik). Gambar 2.4 menunjukkan penggabungan karakteristik kerja antara rele arus lebih waktu *invers* dan rele arus lebih waktu *instan*.



Gambar 2. 4 Kombinasi Rele Arus Lebih Waktu *Invers* Rele Arus Lebih Waktu *Instan*

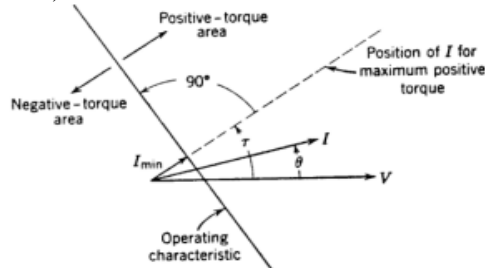
2.5.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu memiliki *setting* waktu operasi yang berbeda-beda bergantung dari *level* arus yang mengalir. Penggunaan rele arus lebih ini berdampak pada gangguan yang diputus dari sistem kelistrikan adalah gangguan yang paling dekat dengan rele yang sesuai dengan *time delay setting*. Sedangkan semua *level* arus yang melebihi *pickup set point* akan dilepaskan dalam waktu yang bersamaan.

2.6 Rele *Directional Over Current*

Rele arah memiliki fungsi untuk membedakan arah suplai arus apakah menuju arah seharusnya atau menuju arah yang lainnya. Arah yang dimaksud adalah arah *forward* dan *reverse*. Kemudian rele arah ini sering diintegrasikan dengan rele arus lebih sehingga menjadi rele arus lebih berarah. Rele jenis ini menggunakan hubungan antara fasa arus dan fasa tegangan untuk menentukan arah gangguan.

Dalam penentuan daerah *trip*, rele arus lebih berarah ini dilengkapi dengan setelan sudut dari koneksi rele yang menghasilkan torsi maksimum. Setelan sudut ini biasa disebut sebagai *maximum torque angle* (MTA).



Gambar 2. 5 Karakteristik *Directional Over Current Relay*

2.7 Penyetelan Rele Arus Lebih

Penyetelan rele arus lebih didasari pada hasil dari studi aliran daya dimana studi aliran daya merupakan tulang punggung untuk melakukan perencanaan, pengoperasian, penjadwalan yang ekonomis, dan perpindahan daya antar peralatan pada suatu analisis dan desain sistem tenaga [5]. Rele arus lebih adalah rele yang tidak akan bekerja pada saat beban maksimum, sehingga arus beban maksimum harus lebih kecil dari *setting* arus pada rele arus lebih. Rele arus lebih memiliki dua macam *setting*, yaitu: penyetelan *time dial* dan penyetelan arus *pick up* sekunder maupun arus *pick up* primer [6]. Pemilihan *tap* ditentukan oleh besarnya arus *pickup* pada penyetelan rele arus lebih. Nilai *tap* dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan (4) [7]:

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \dots \dots \dots (4)$$

Nilai Iset adalah nilai arus *pickup* dalam satuan *ampere*. Menurut standar British BS-142, batas penyetelan rele arus lebih berkisar antara 1.05 - 1.3 Iset.

2.7.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Penyetelan rele arus lebih waktu *inverse* membutuhkan *setting overcurrent* dan *setting time dial* untuk menentukan waktu operasi rele. Penentuan *setting overcurrent* ditentukan oleh standar yang ditetapkan oleh standar British BS-142 pada persamaan (5):

$$1,05 \times \text{FLA Peralatan} < I_{set} < 1,3 \times \text{FLA Peralatan} \dots \dots \dots (5)$$

Penentuan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih didapatkan dari persamaan (6) [8]:

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- Iset = arus *pickup* (Ampere)
- k = koefisien *invers* 1 (lihat Tabel 2.2)
- α = koefisien *invers* 2 (lihat Tabel 2.2)
- β = koefisien *invers* 3 (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2. 2 Koefisien *Type Curve*

Current Type	Coefficient Values		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0.14	0.02	2.97
<i>Very Inverse</i>	13.5	1	1.5
<i>Long Time Inverse</i>	120	1	13.33
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	0.808
<i>Ultra Inverse</i>	315.2	2.5	1

2.7.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu *Instan*

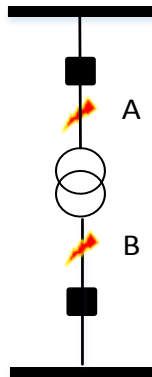
Studi hubung singkat diperlukan pada penyetelan rele arus lebih waktu *instan* dikarenakan untuk mendapatkan parameter nilai arus hubung singkat untuk menentukan arus dan tegangan maksimum serta minimum pada titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis gangguan yang terjadi [9].

Setelah dilakukannya studi hubung singkat maka akan didapatkan nilai dari *pickup set point* yang diizinkan. Penentuan *setting pickup point* menggunakan $I_{sc\ min}$ dimana $I_{sc\ min}$ adalah arus hubung singkat dua fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga ditetapkan *setting* (7):

$$1,6 \times FLA \text{ Peralatan} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc\ min} \dots \dots \dots (7)$$

Pada persamaan 5, didapatkan nilai 0,8 yang merupakan faktor keamanan dari suatu proteksi untuk estimasi bila terjadi arus gangguan yang lebih kecil dari arus hubung singkat minimum dan tidak terdeteksi.

Jika suatu *feeder* dipisahkan oleh trafo, koordinasi proteksi dibedakan menjadi dua daerah, yaitu: daerah tegangan rendah (LV) dan daerah tegangan tinggi (HV), seperti yang terlihat pada Gambar 2.5:



Gambar 2. 6 Rele Arus Lebih Pengaman Trafo

Diketahui $I_{sc\ max}$ bus B merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc\ min}$ bus A adalah arus hubung singkat minimum pada titik A. Dari Gambar 2.5 dapat ditentukan *setting pickup* pada persamaan (8):

$$I_{sc \max bus B} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min bus A} \dots \dots \dots (8)$$

Pada persamaan 6, nilai 0,8 merupakan nilai *safety* seperti pada persamaan 5 untuk menanggulangi arus yang lebih kecil dari arus hubung singkat minimum yang tidak terdeteksi.

2.7.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Sistem koordinasi proteksi yang baik adalah koordinasi proteksi yang bekerja secara berurutan dengan jarak waktu tertentu, dimana rele pengaman utama bekerja terlebih dahulu sebelum pengaman *backup* bekerja.

Jarak waktu atau *time delay* juga dikenal dengan *setting* keterlambatan waktu (*grading time*). *Time delay* berdasarkan standar IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0,04-0,1 detik (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0,1 detik

Faktor keamanan : 0,12-0,22 detik

Jika rele berbasis *microprocessor*, maka *overtravel time* dari rele akan diabaikan [1].

2.8 Rele Gangguan ke Tanah (*Ground Fault Relay*)

Rele gangguan ke tanah berfungsi dengan cara mengamankan gangguan satu fasa ke tanah yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter*.

2.9 Penyetelan Rele Gangguan ke Tanah

Rele gangguan ke tanah akan bekerja jika ada arus urutan nol, dimana arus urutan nol mengalir dari sumber gangguan trafo belitan Wye dan terisolasi pada trafo belitan delta. *Setting* rele gangguan ke tanah memakai persamaan (9) dan persamaan (10) :

$$5 - 10\% \times I_n \leq I_{set} \leq 50\% \times I_n \dots \dots \dots (9)$$

$$5 - 10\% \times I_{sc L - G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc L - G} \dots \dots \dots (10)$$

Dimana:

$I_{sc L - G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

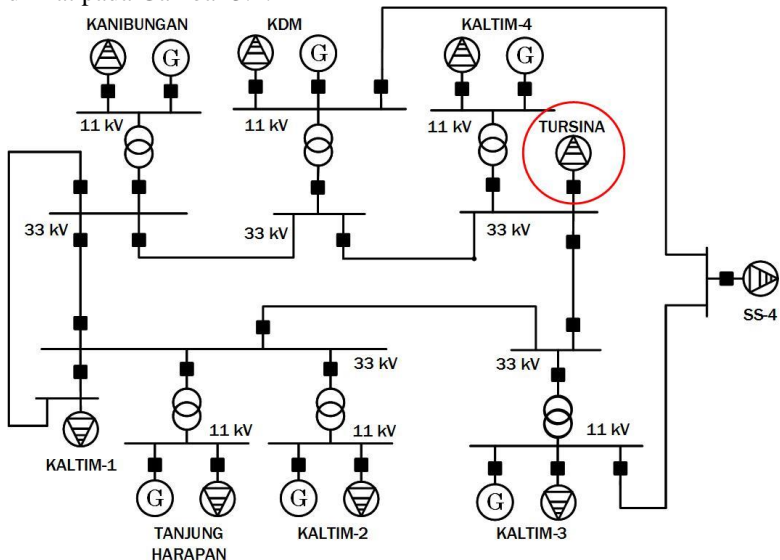
BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN *FUTURE NEW RING* DAN TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Pada bab ini akan disajikan data primer yang didapat dari PT. Pupuk Kalimantan Timur.

3.1 Sistem Kelistrikan *Future New Ring* dan Tursina

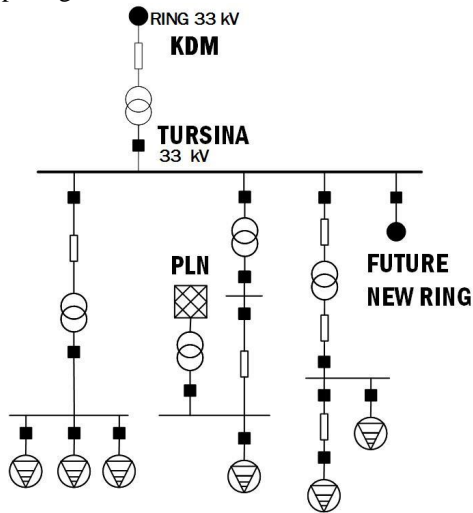
Tursina adalah salah satu *island* yang terdapat dalam PT KDM *Utility Center*. Demi menunjang kontinuitas aliran daya pada PT. Pupuk Kalimantan Timur, sistem kelistrikan pabrik tersebut dirancang dengan mengintegrasikan tiap-tiap pabrik ke dalam suatu ring bus 33 kV. *Single line diagram utility center* PT KDM dan posisi *Island* Tursina dapat dilihat pada Gambar 3.1.



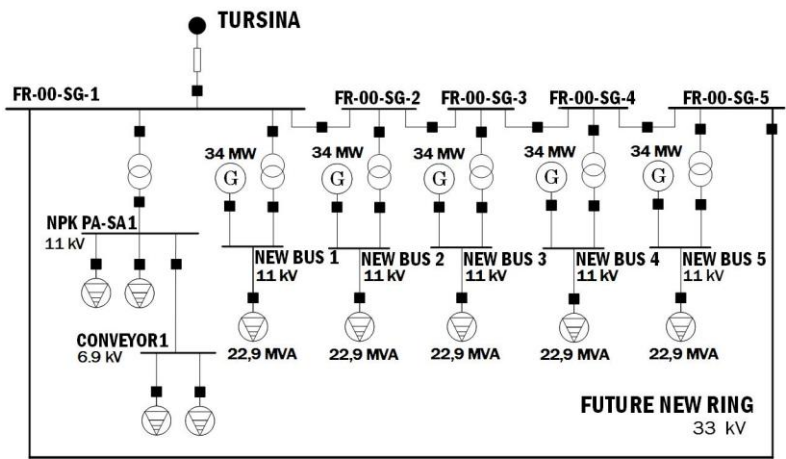
Gambar 3.1 *Single line diagram* PT KDM *Utility Center*

Dalam meningkatkan produksi PT. Pupuk Kalimantan Timur melakukan ekspansi dengan membangun *Future New Ring* yang merupakan pengembangan *feeder outgoing* Tursina, dengan kapasitas

pembangkit sebesar 5x34 MW dan akan dihubungkan dengan sistem integrasi eksisting melalui Bus Tursina 33 kV. Seperti gambar *single line diagram* pada gambar 3.2 dan 3.3



Gambar 3.2 *Single line diagram* sistem eksisting Tursina



Gambar 3. 3 *Single line diagram* Future New Ring

3.2 Kapasitas Pembangkitan

Setelah dilakukan penambahan, PT Pupuk Kalimantan Timur memiliki total 11 generator yang beroperasi. Generator tersebut tersebar dengan rincian seperti pada Tabel 3.1..

Tabel 3.1 Data kapasitas pembangkit di PT Pupuk Kalimantan Timur

ID	Lokasi	Tegangan (KV)	Kapasitas (MW)
PKT-STG-2	KALTIM 2	11	36,4
16-Z-001	KALTIM-3	11	30
GenP	KALTIM-4	11	21,6
STG-K-5	KANIBUNGAN	11	30
GTG KDM	KDM	11	34
PKT-STG-2	TANJUNG HARAPAN	11	30
NEW GEN 1	FUTURE NEW RING	11	34
NEW GEN 2	FUTURE NEW RING	11	34
NEW GEN 3	FUTURE NEW RING	11	34
NEW GEN 4	FUTURE NEW RING	11	34
NEW GEN 5	FUTURE NEW RING	11	34

3.3 Sistem Distribusi

Future New Ring menggunakan sistem distribusi ring untuk menghubungkan jaringan kelistrikannya. Terdapat 3 level tegangan pada sistem distribusi *Future New Ring* yaitu 33 kV, 11 kV, dan 6,9 kV, seperti dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Data level tegangan bus di *Future New Ring*

No	ID	Tegangan (kV)
1	FR-00-SG-1	33
2	FR-00-SG-2	33
3	FR-00-SG-3	33
4	FR-00-SG-4	33

Lanjutan **Tabel 3.2** Data *level* tegangan bus di *Future New Ring*

5	FR-00-SG-5	33
6	BUS NPK PA-SA1	6,9
7	BUS CONVEYOR1	6,9
8	NEW BUS 1	11
9	NEW BUS 2	11
10	NEW BUS 3	11
11	NEW BUS 4	11
12	NEW BUS 5	11

Sedangkan pada sistem eksisting Tursina yang mengintegrasikan *Future New Ring* dengan Ring 33 kV yang lama, sistem distribusi yang digunakan adalah radial dengan *level* tegangan 33 kV, 20 kV, 11 kV, dan 6,9 kV, seperti dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Data *level* tegangan bus di sistem eksisting Tursina

No	ID	Tegangan (kV)
1	TU-SG-01	33
2	TUS-SG-01	33
3	TU-SG-02	20
4	BUS PLN	20
5	TU-SG-11	11
6	BUS KNI	11
7	BUS 190	6,9

Sistem distribusi ini ditunjang oleh 6 transformator pada *Future New Ring* serta 4 trafo pada sistem eksisting Tursina untuk menurunkan dan menaikkan tegangan sebelum dialirkan ke beban. Data transformator di *Future New Ring* dapat dilihat pada tabel 3.4 dan data *transformator* di sistem eksisting Tursina dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3. 4 Data transformator di *Future New Ring*

No	ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (KV)	%Z	Hubungan
1	TRAFO NPK PA-SA1	40	33/6,9	11	Delta-Wye
2	NEW TRAFO 1	25	33/11	12,5	Delta-Wye
3	NEW TRAFO 2	25	33/11	12,5	Delta-Wye
4	NEW TRAFO 3	25	33/11	12,5	Delta-Wye
5	NEW TRAFO 4	25	33/11	12,5	Delta-Wye
6	NEW TRAFO 5	25	33/11	12,5	Delta-Wye

Tabel 3. 5 Data transformator di sistem eksisting Tursina

No	ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (KV)	%Z	Hubungan
1	IT TURSINA	50	33/33	12.5	Delta-Wye
2	TUS-TR-PELABUHAN	7.5	33/6,9	7	Delta-Wye
3	TU-TR-03	15	33/20	10	Delta-Wye
4	TU-TR-01	15	33/11	10	Delta-Wye

3.4 Data Beban

Beban yang terdapat pada *Future New Ring* dan Tursina merupakan beban *lumped load*. Data dari beban di *Future New Ring* dapat dilihat pada tabel 3.6 dan data beban dari Tursina dapat dilihat pada tabel 3.7.

Tabel 3. 6 Data beban di *Future New Ring*

No	ID	Kapasitas (MW)	Kapasitas (MVA)	Tegangan (KV)	FLA (A)
1	NPK PLANT1	9	10,588	6,9	885,9
2	PA-SA PLANT1	13	15,294	6,9	1280
3	Conveyor Utility1	2	2,353	6,9	196,9
4	NPK & KCL BULK STORAGE1	4	4,706	6,9	393,8
5	New Load 1	20	22,901	11	1.202
6	New Load 2	20	22,901	11	1.202
7	New Load 3	20	22,901	11	1.202
8	New Load 4	20	22,901	11	1.202
9	New Load 5	20	22,901	11	1.202

Tabel 3. 7 Data beban di sistem eksisting Tursina

No	ID	Kapasitas (MW)	Kapasitas (MVA)	Tegangan (KV)	FLA (A)
1	PLN LOADD	5,2	6,5	20	187,6
2	KNI	5,5	6,344	11	332,9

3.5 Data Saluran

Untuk Menghubungkan bus satu dengan lainnya, saluran distribusi pada simulasi digunakan kabel dengan resistansi dan reaktansi tiap kabel yang dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan 3.9

Tabel 3. 8 Data Saluran di *Future New Ring*

No	Cable ID	Panjang (km)	Z saluran (Ω/km)	
			$Z_{1L} = Z_{2L}$	Z_{0L}
1	Cable 6-2	1,5	$0,098+j0,109$	$0,31+0,27j$

Tabel 3. 9 Data saluran di sistem eksisting Tursina

No	Cable ID	Panjang (km)	Z saluran (Ω/km)	
			$Z_{1L} = Z_{2L}$	Z_{0L}
1	Cable 112	1,5	$0,098+j0,109$	$0,31+0,27j$
2	Cable 113	1,2	$0,248+j0,143$	$0,78+0,35j$
3	Cable 4-2	5	$80+j113$	$127,2+287,02j$
4	Cable 110	0,03	$0,098+j0,125$	$0,31+0,31j$
5	Cable 111	0,03	$0,098+j0,125$	$0,31+0,31j$
2	Cable 109	0,8	$0,128+j0,112$	$0,2+0,24j$

3.6 Sistem Proteksi di *Future New Ring* Tursina

Dalam jaringan kelistrikan selalu dibutuhkan sistem proteksi yang handal, sehingga ketika terjadi gangguan, sistem proteksi langsung bekerja untuk mengamankan daerah gangguan. Sistem proteksi di *Future New Ring* saat ini terkoordinasi menenggunakan rele 50 untuk mengamankan gangguan akibat arus urutan nol, rele 51 untuk mengamankan gangguan akibat arus lebih dan Rele 67 untuk mengamankan *directional* arus lebih.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PADA *FUTURE NEW RING* DAN TURSINA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan

Koordinasi sistem proteksi pada PT. Pupuk Kalimantan Timur dilakukan dengan melakukan pemodelan pada *software*. Data-data yang adalah data-data yang terdapat pada bab sebelumnya.

Setelah pemodelan selesai dibuat langkah berikutnya adalah melakukan analisis aliran daya untuk memastikan kondisi sistem dalam keadaan stabil. Selain itu dengan analisis aliran daya kita juga dapat mengetahui tegangan pada tiap bus (*overvoltage* atau *undervoltage*), faktor daya, pembebanan yang ditanggung oleh transformator, serta rugi rugi-rugi daya pada sistem, sehingga dapat dilakukan evaluasi. Jika sistem sudah stabil maka dilakukan analisis hubung singkat untuk mengetahui nilai arus hubung singkat sehingga dapat dilakukan koordinasi proteksi dengan tepat.

4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

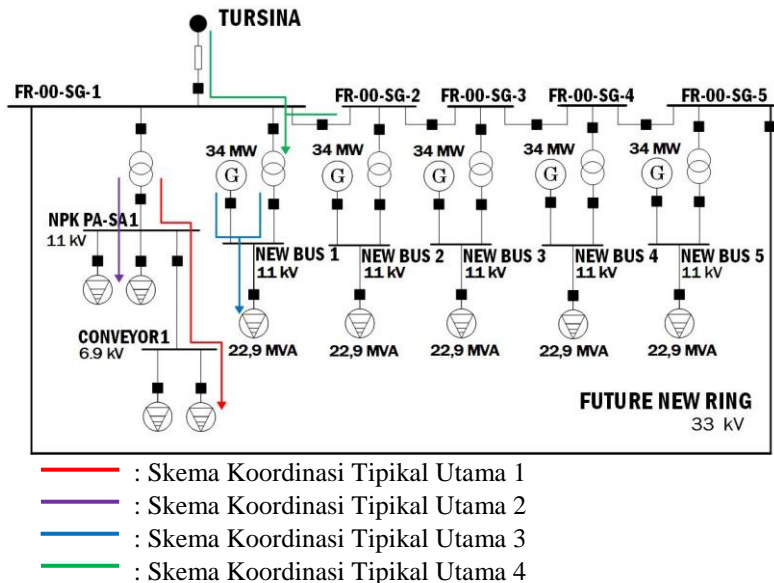
Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa digunakan untuk mengamankan gangguan arus lebih yang biasanya berupa gangguan beban lebih (*overload*) dan hubung singkat (*short circuit*). Sehingga dilakukan *setting* arus dan waktu pada setiap rele arus lebih agar koordinasi bekerja sesuai dengan yang diharapkan dan tidak terjadi *overlap* antar rele.

Dalam melakukan *setting* untuk rele arus lebih dibutuhkan beberapa parameter seperti *pick up lowset*, *time dial*, *pick up highset*, dan *time delay*. Langkah berikutnya setelah kita menemukan parameter yang dibutuhkan adalah melakukan plot *Time-Current Characteristic Curve*.

4.3 Pemilihan Tipikal Koordinasi *Future New Ring* dan Tursina

Pemodelan tipikal dalam sistem koordinasi proteksi bertujuan untuk mempermudah dalam melakukan *setting* proteksi. Dilakukan

pembagian dalam beberapa tipikal yaitu tipikal utama yang berada pada *Future New Ring* dan tipikal-tipikal lainnya yang berada pada sistem eksisting Tursina. Tipikal tersebut nantinya akan menjadi acuan untuk *setting* koordinasi proteksi yang lain baik pada *Future New Ring* maupun Tursina. Pembagian tipikal utama dapat dilihat pada gambar 4.1



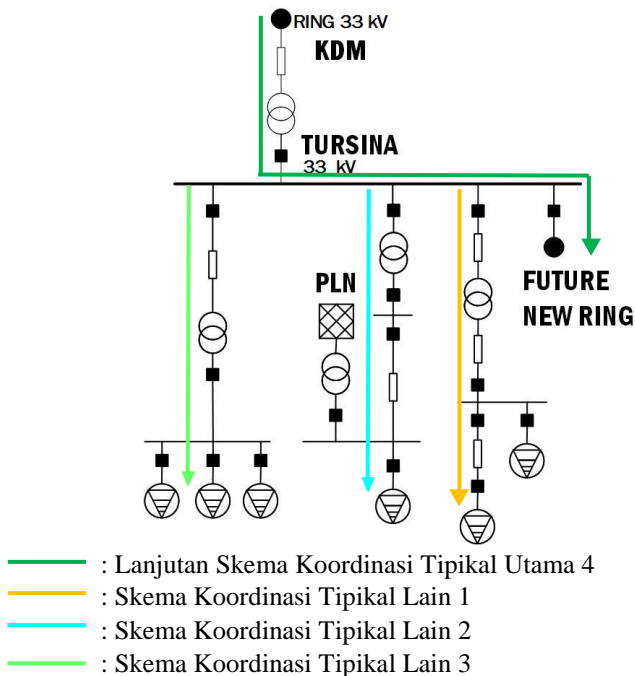
Gambar 4. 1 Skema Koordinasi Tipikal di *Future New Ring*

Pembagian Tipikal Utama :

1. **Tipikal Utama 1** : Koordinasi dari beban NPK & KCL BULK STORAGE1 hingga sekunder trafo NPK PA-SA1. Pemilihan ini berdasarkan beban terjauh dari trafo NPK PA-SA1.
2. **Tipikal Utama 2** : Koordinasi dari beban PA-SA PLANT 1 (lumped load sebesar 15.294 MVA) sampai sekunder trafo NPK PA-SA1. Pemilihan tipikal ini berdasarkan beban terbesar dari trafo NPK PA-SA1.
3. **Tipikal Utama 3** : Koordinasi dari beban New Load 1 menuju ke pembangkit New G1 dan NEW TRAF0 1, Tipikal

4. **Tipikal Utama 4** : Koordinasi dari NEW TRAFO 1 menuju ke sistem interkoneksi dengan ring Bus 33 kV KDM. Pemilihan tipikal ini untuk menunjukkan koordinasi yang sinkron dari jaringan pabrik baru ke jaringan pabrik lama.

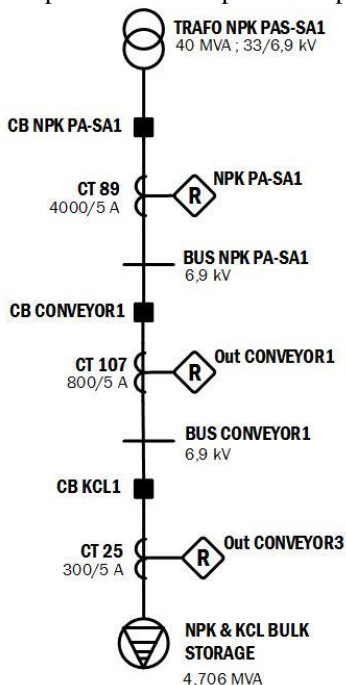
1. **Tipikal Lain 1** : Koordinasi dari bus 34 sampai ke bus TUSG-01.
2. **Tipikal Lain 2** : Koordinasi dari beban PLN LOAD sampai ke bus TUSG-01.
3. **Tipikal Lain 3** : Koordinasi dari beban KNI sampai ke bus TUSG-01.



Gambar 4. 2 Skema Koordinasi Tipikal di Tursina

4.3.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Utama 1

Tipikal Utama 1 ini merupakan koordinasi dari beban *lumped load* NPK & KCL BULK STORAGE1 hingga sekunder trafo NPK PA-SA1. *Single line diagram* tipikal utama 1 dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Tipikal Utama 1 *Future New Ring*

Rele yang dikoordinasikan pada tipikal 1 adalah rele Out CONVEYOR3, Out CONVEYOR1, dan NPK-PA-SA1. *Setting* pada *software* dilakukan setelah kita melakukan perhitungan secara manual. Perhitungan Tipikal 1 dapat dijabarkan sebagai berikut :

RELAY OUT CONVEYOR3

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Curve Type : IEC Standard Invers

FLA Beban	: 393,8 A (FLA dari beban <i>lumped load</i> NPK & KCL BULK STORAGE1)
CT Ratio	: 300 / 5
Isc Minimum Bus 2	: 30.030 A
Isc Maksimum Bus 2	: 34.550 A
Tegangan	: 6,9 kV
Output	: CB KCL 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 393,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 393,8$$

$$413,49 < \text{Iset} < 551,32$$

$$\frac{413,49}{300} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{551,32}{300} \text{ In}$$

$$1,38 \text{ In} < \text{Tap} < 1,84 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In
dipilih *tap* = 1,44

dengan Iset = 433,2 A (1,44 x 300)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{\text{Is}}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{\text{Isc Max bus}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{\text{Isc Max bus}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{34.550}{1,44 \times 300}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,19$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,19

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 393,8 < I_{\gg} < 0,8 \times 30.030$$

$$630,08 < I_{\gg} < 24.024$$

$$\frac{630,08}{300} In < \text{Tap} < \frac{24.024}{300} In$$

$$2,1 In < \text{Tap} < 80.08 In$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 6,56 *In*

dengan *Iset* = 1.969 A (6,56 x 300)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

RELAY OUT CONVEYOR1

Manufacturer : ALSTOM

Model : P343

Curve Type : IEC Standard Invers

FLA Beban : 590,7 A

CT Ratio : 800 / 5

Isc Minimum CONVEYOR1 : 29.260 A

Isc Maksimum CONVEYOR1 : 33.600 A

Tegangan : 6,9 kV

Output : CB KCL 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 590,7 < \text{Iset} < 1,4 \times 590,7$$

$$620,235 < \text{Iset} < 826,98$$

$$\frac{620,235}{800} In < \text{Tap} < \frac{826,98}{800} In$$

$$0,78 In < \text{Tap} < 1,03 In$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 0,812

dengan *Iset* = 649,6 A (0,812 x 800)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{33.600}{0,812 \times 800}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,52$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,52

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,6 \times 590,7 < I_{\gg} < 0,8 \times 29.260$$

$$945,12 < I_{\gg} < 23.408$$

$$\frac{945,12}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{23.408}{800} \text{ In}$$

$$1,18 \text{ In} < \text{Tap} < 29,26 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 3,69 In

dengan Iset = 2.953 A (3,69 x 300)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

RELAY NPK PA-SA1

Manufacturer : ALSTOM

Model : P343

Curve Type : IEC Standard Invers

FLA Beban	: 2.756,6 A (FLA sekunder trafo NPK PAS-SA1)
CT Ratio	: 4.000 / 5
Isc Minimum NPK PA-SA1	: 19.520 A
Isc Maksimum NPK PA-SA1	: 22.350 A
Tegangan	: 6,9 kV
Output	: CB NPK PA-SA1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA Beban} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban} \\
 1,05 \times 2.756,6 &< I_{set} < 1,4 \times 2.756,6 \\
 2.894,43 &< I_{set} < 3.859,24 \\
 \frac{2.894,43}{4.000} I_n &< \text{Tap} < \frac{3.859,24}{4.000} I_n \\
 0,72 I_n &< \text{Tap} < 0,96 I_n
 \end{aligned}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,75

dengan $I_{set} = 3.032,26 \text{ A}$ ($0,75 \times 4.000$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{22.350}{0,75 \times 4.000}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,43$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,43

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 590,7 < I_{\gg} < 0,8 \times 29.260$$

$$945,12 < I_{\gg} < 23.408$$

$$\frac{945,12}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{23.408}{800} \text{ In}$$

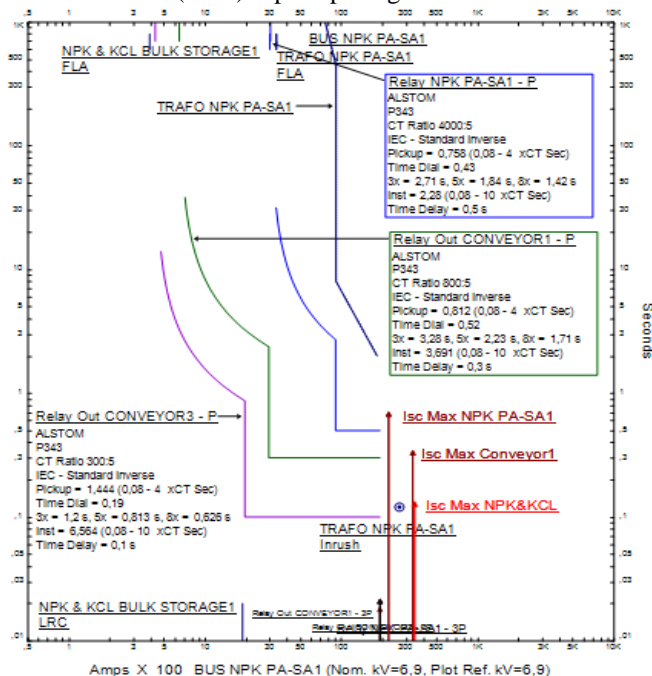
$$1,18 \text{ In} < \text{Tap} < 29,26 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 3,69 *In*, dengan *Iset* = 2.953 A (3,69 x 800)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

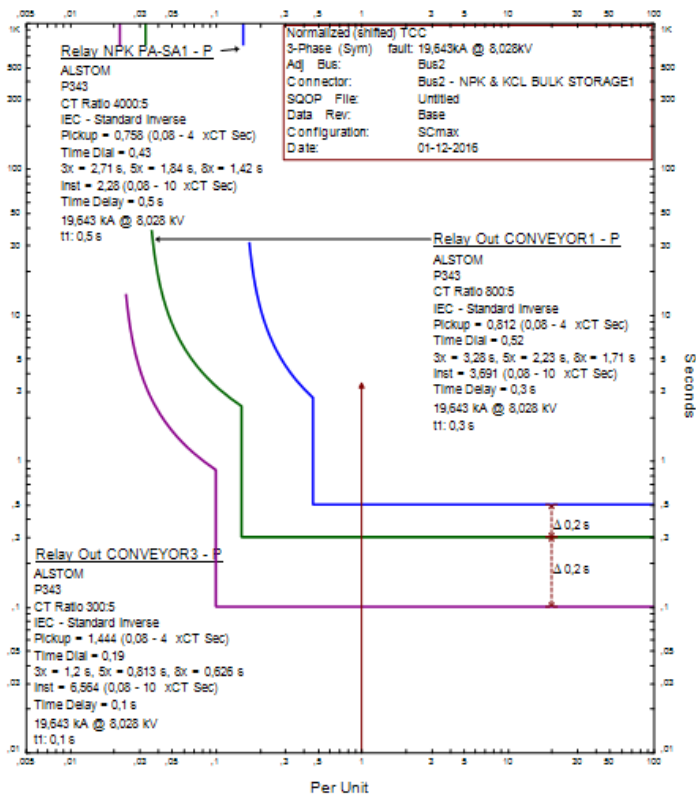
Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* (TCC) seperti pada gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4. 4 Time-Current Characteristic Curve Tipikal Utama 1 dalam ampere

Sesuai hasil plot pada gambar 4.4 dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Relay Out CONVEYOR3 berfungsi sebagai pelindung beban NPK&KCL Bulk Storage terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Relay Out CONVEYOR1 berfungsi sebagai pengaman bus NPK PA-SA1 saat terjadi hubung singkat pada bus Conveyor1.
- Relay NPK PA-SA1 sebagai pengaman sisi sekunder trafo NPK PA-SA1 jika terjadi hubung singkat di bus NPK PA-SA1.
-

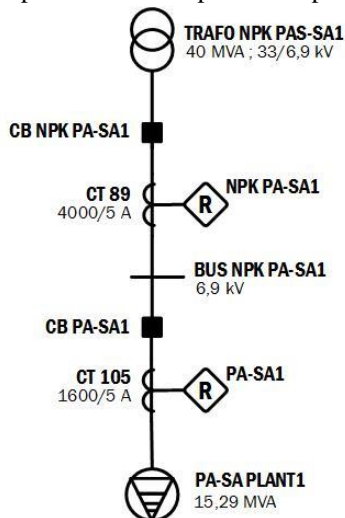


Gambar 4. 5 Time-Current Characteristic Curve Tipikal Utama 1 dalam satuan *per unit* (p.u.)

Saat kurva di ubah dalam satuan *per unit* kita dapat melihat koordinasi antara rele-rele saat terjadi hubung singkat. Disimulasikan terjadi terjadi gangguan arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat pada beban NPK & KCL BULK STORAGE1 maka yang bekerja untuk mengamankan adalah Relay Out CONVEYOR3 kemudian di *backup* oleh Relay Out CONVEYOR1 dan Relay NPK PA-SA1 bila terjadi kegagalan. Dapat dilihat untuk *grading time* antara rele dipilih sebesar 0,2 sekon sesuai dengan standart IEEE 242 yang menyebutkan bahwa *grading time* untuk rele digital berada di kisaran 0,2-0,3 detik.

4.3.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Utama 2

Tipikal utama 2 hampir serupa dengan tipikal utama 1, jika pada tipikal utama 1 merupakan beban terjauh pada tipikal 2 merupakan beban terbesar yaitu beban *lumped load* PA-SA Plant 1 (15,29 MVA). *Single line diagram* tipikal utama 2 dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Tipikal Utama 2 *Future New Ring*

Rele yang dikoordinasikan pada tipikal 2 antara lain adalah rele PA-SA1 dan NPK-PA-SA1. Berikut perhitungan manual dari masing-masing rele pada Tipikal 2:

RELAY PA-SA1

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: IEC <i>Standard Invers</i>
FLA Beban	: 1.280 A (FLA PA-SA PLANT1)
<i>CT Ratio</i>	: 1.600 / 5
Isc Minimum Bus 26	: 25.960 A
Isc Maksimum Bus 26	: 29.790 A
Tegangan	: 6,9 kV
<i>Output</i>	: CB PA-SA1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA Beban} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban} \\1,05 \times 1280 &< I_{set} < 1,4 \times 1280 \\1.344 &< I_{set} < 1.792 \\ \frac{1.344}{1.600} I_n &< \text{Tap} < \frac{1.792}{1.600} I_n \\0,84 I_n &< \text{Tap} < 1,12 I_n\end{aligned}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,88
dengan $I_{set} = 1.408 \text{ A}$ ($0,88 \times 1.600 \text{ A}$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

$$\begin{aligned}t_d(I) &= \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta} \\0,3 &= \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97} \\T &= \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14} \\T &= \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{29.790}{0,88 \times 1.600}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}\end{aligned}$$

$$T = 0,40$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,40

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 1280 < I_{\gg} < 0,8 \times 25.960$$

$$2.048 < I_{\gg} < 20.768$$

$$\frac{2.048}{1.600} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{20.768}{1.600} \text{ In}$$

$$1,28 \text{ In} < \text{Tap} < 12,98 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 4 In

dengan Iset = 6.400 A (4 x 1.600)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

RELAY NPK PA-SA1

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: IEC <i>Standard Invers</i>
FLA Beban	: 2.756,6 A
CT Ratio	: 4.000 / 5
Isc Minimum NPK PA-SA1	: 19.520 A
Isc Maksimum NPK PA-SA1	: 22.350 A
Tegangan	: 6,9 kV
Output	: CB NPK PA-SA1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 2.756,6 < \text{Iset} < 1,4 \times 2.756,6$$

$$2.894,43 < \text{Iset} < 3.859,24$$

$$\frac{2.894,43}{4.000} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3.859,24}{4.000} \text{ In}$$

$$0,72 \text{ In} < \text{Tap} < 0,96 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih $tap = 0,75$

dengan $I_{set} = 3.032,26 \text{ A}$ ($0,75 \times 4.000$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0.02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{22.350}{0,75 \times 4.000}\right)^{0.02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,43$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,43

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min}$$

$$1,6 \times 590,7 < I_{\gg} < 0,8 \times 29.260$$

$$945,12 < I_{\gg} < 23.408$$

$$\frac{945,12}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{23.408}{800} \text{ In}$$

$$1,18 \text{ In} < \text{Tap} < 29,26 \text{ In}$$

memiliki tap dengan *range* : $0,08 - 4 \times CT$ sekunder dengan *step* $0,01 \text{ In}$

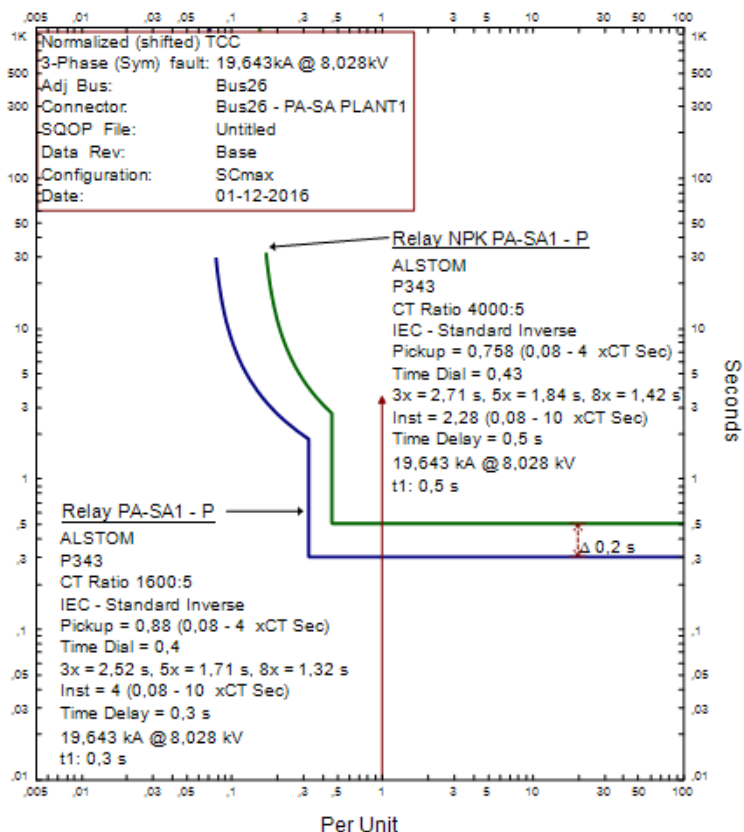
dipilih $tap = 3,69 \text{ In}$

dengan $I_{set} = 2.953 \text{ A}$ ($3,69 \times 800$)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* seperti pada gambar 4.7.

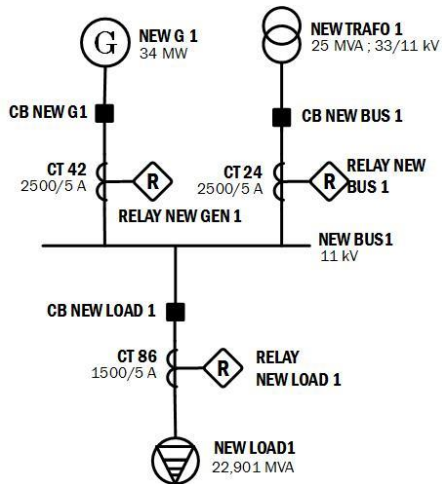


Gambar 4. 7 Time-Current Characteristic Curve Tipikal Utama 2

Dari kurva dapat dianalisis jika terjadi gangguan arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat pada beban PA-SA PLANT1 maka yang bekerja untuk mengamankan adalah Relay PA-SA1 kemudian di *backup* oleh Relay NPK PA-SA1 bila terjadi kegagalan. Dapat diketahui juga bahwa diketahui bahwa koordinasi antar *relay* sudah berjalan dengan selisih waktu antar gangguan atau *clearing time interval* (CTI) sebesar 0,2 detik.

4.3.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Utama 3

Pada *Future New Ring* terdapat tipikal yang serupa di setiap bus nya. Tipikal Utama 3 merupakan salah satu dari tipikal serupa yang terdapat pada bus pertama di sistem ring, tipikal ini akan menjadi acuan untuk melakukan setting 4 bus lainnya. Tipikal ini memiliki 3 rele yaitu RELAY NEW LOAD 1, NEW BUS 1, dan NEW GEN 1. Tipikal utama 3 dapat dilihat pada gambar



Gambar 4. 8 Tipikal Utama 3 *Future New Ring*

Berikut ini perhitungan manual parameter-parameter dari masing-masing rele tipikal utama 3.

RELAY NEW LOAD 1

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: IEC Standard Invers
FLA Beban	: 1.202 A (FLA NEW LOAD 1)
<i>CT Ratio</i>	: 1.500 / 5
Isc Minimum Bus 28	: 20.360 A
Isc Maksimum Bus 28	: 21.160 A
Tegangan	: 11 kV

Output

: CB NEW LOAD 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 1.202 < I_{set} < 1,4 \times 1.202$$

$$1.262,10 < I_{set} < 1.682,8$$

$$\frac{1.262,10}{1.500} I_n < \text{Tap} < \frac{1.682,8}{1.500} I_n$$

$$0,84 I_n < \text{Tap} < 1,12 I_n$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,882

dengan $I_{set} = 1.323 \text{ A}$ ($0,882 \times 1.500$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{21.160}{0,882 \times 1.500}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,12$$

Maka dipilih *time dial* setting (TDS) = 0,12

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min}$$

$$1,6 \times 1.202 < I_{\gg} < 0,8 \times 20.360$$

$$1.923,20 < I_{\gg} < 16.288$$

$$\frac{1.923,20}{1.500} I_n < \text{Tap} < \frac{16.288}{1.500} I_n$$

$$1,28 \text{ In} < \text{Tap} < 10,86 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 10 x CT sek dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 3,4 In

dengan Iset = 5.100 A (3,4 x 1.500)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik.

RELAY NEW BUS 1

Manufacturer : ALSTOM

Model : P343

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA Beban : 2.099 A (FLA sekunder NEW TRAF01)

CT Ratio : 2.500 / 5

Isc Minimum New Bus 1 : 7.720 A

Isc Maksimum New Bus 1 : 8.860 A

Tegangan : 11 kV

Output : CB NEW BUS 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 2.099 < \text{Iset} < 1,4 \times 3.301$$

$$2.203,95 < \text{Iset} < 4.621,40$$

$$\frac{2.203,95}{2.500} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{4.621,40}{2.500} \text{ In}$$

$$0,88 \text{ In} < \text{Tap} < 1,85 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 1

dengan Iset = 2.500 A (1 x 2.500)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}} \right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{8.860}{1 \times 2.500} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,16$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,175

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times Isc \text{ min}$$

$$1,6 \times 3.301 < I_{\gg} < 0,8 \times 7.720$$

$$5.281,60 < I_{\gg} < 6.176$$

$$\frac{5.281,60}{2.500} In < Tap < \frac{6.176}{2.500} In$$

$$2,11 In < Tap < 2,47 In$$

memiliki tap *range* : 0,08 – 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 2,4 In

dengan Iset = 6.000 A (2,4 x 2.500)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik.

RELAY NEW GEN 1

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: IEC <i>Standard Invers</i>
FLA Beban	: 2.099 A (FLA NEW GEN 1)
CT Ratio	: 2.500 / 5
Isc Minimum New Bus 1	: 12.670 A
Isc Maksimum New Bus 1	: 12.300 A
Tegangan	: 11 kV
Output	: CB NEW GEN 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 2.099 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 2.099$$

$$2.203,95 < I_{\text{set}} < 2.938,60$$

$$\frac{2.203,95}{2.500} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{2.938,60}{2.500} \text{ In}$$

$$0,88 \text{ In} < \text{Tap} < 1,18 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In
dipilih *tap* = 0,923

dengan $I_{\text{set}} = 2.308,90 \text{ A}$ ($0,923 \times 2.500$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{sc Max bus}}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{\text{sc Max bus}}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{12.300}{0,923 \times 2.500}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,36$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,775

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \times 2.099 < I_{\gg} < 0,8 \times 12.670$$

$$3.358,40 < I_{\gg} < 10.136$$

$$\frac{3.358,40}{2.500} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{10.136}{2.500} \text{ In}$$

$$1,34 \text{ In} < \text{Tap} < 4,05 \text{ In}$$

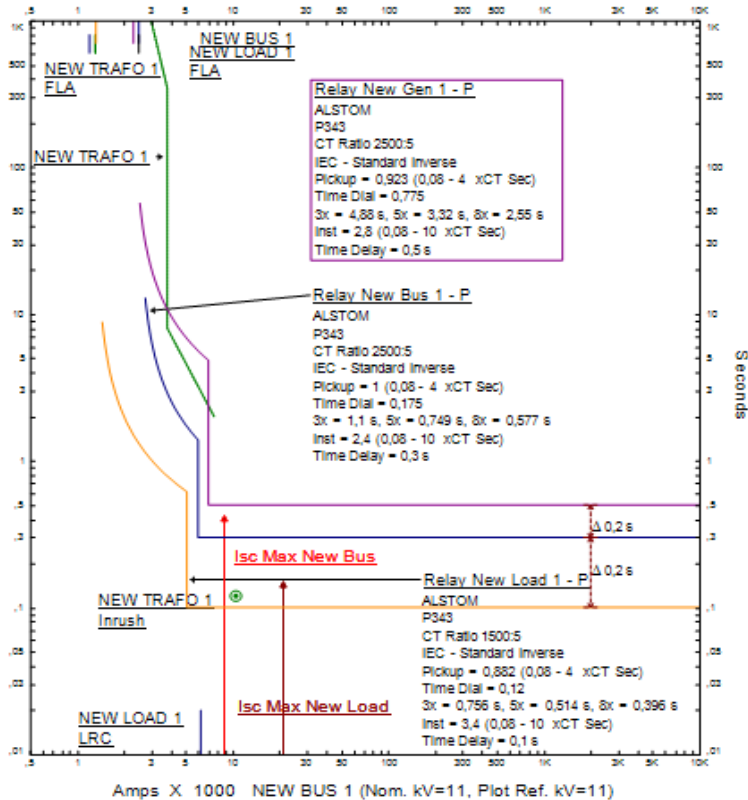
memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 10 x CT sek dengan *step* 0,01 In

dipilih $tap = 2,8 In$, dengan $I_{set} = 7.000 \text{ A}$ ($2,8 \times 2.500$)

Time delay

dipilih $time\ delay = 0,5 \text{ detik}$.

Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan TCC pada gambar 4.9 dan 4.10

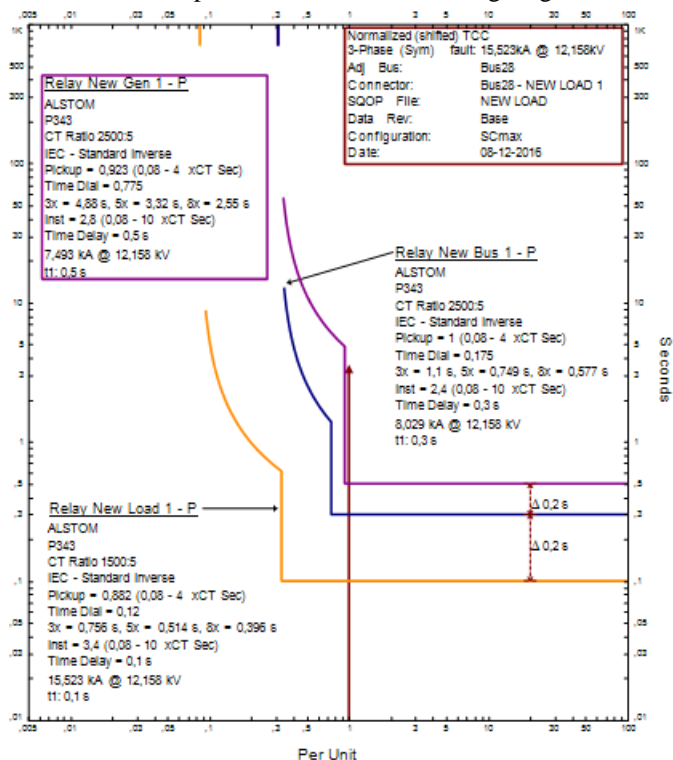


Gambar 4. 9 Time-Current Characteristic Curve Tipikal Utama 3 dalam ampere

Dari gambar 4.9 dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Relay New Load 1 berfungsi sebagai pelindung NEW LOAD1 terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.

- Relay New Bus 1 sebagai pengaman sisi sekunder NEW TRAFO 1 saat terjadi hubung singkat pada NEW BUS 1.
- Relay New Gen 1 berfungsi untuk melindungi New Gen 1 terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.

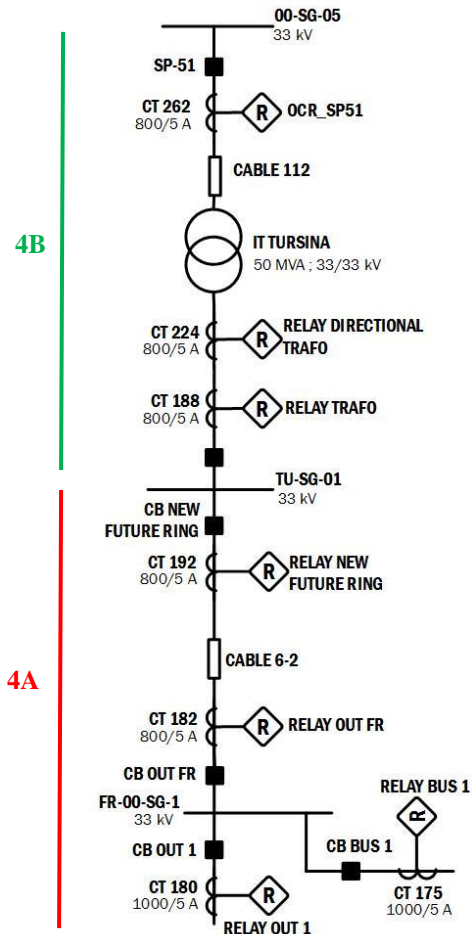


Gambar 4. 10 Time-Current Characteristic Curve Tipikal Utama 3 dalam satuan *per unit*

Pada gambar 4.10 dapat dilihat koordinasi rele saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada beban NEW LOAD1. Rele yang pertama bekerja adalah Relay New Load1. Jika terjadi kegagalan maka Relay New Bus 1 dan Relay New Gen 1 akan menjadi *backup*. Namun Relay New Bus 1 lebih didahulukan untuk *trip* agar arus gangguan tidak mengganggu

sistem *ring* dan eksisting. Selain itu dapat dianalisis bahwa bahwa *clearing time interval* (CTI) antar relay sudah sesuai standart yaitu 0,2 s.

4.3.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Utama 4



Gambar 4. 11 Tipikal Utama 4 *Future New Ring*

Tipikal utama 4 merupakan tipikal yang menghubungkan sistem ring 33 kV KDM, Tursina, dan *Future New Ring*. Dari tipikal ini dapat

dilihat apakah sistem baru yang akan dibangun sudah sinkron dengan sistem eksisting di PT. Pupuk Kalimantan Timur. Tipikal utama 4 dapat dilihat pada gambar 4.11.

Berikut ini perhitungan manual parameter-parameter dari masing-masing rele tipikal utama 4A :

RELAY OUT 1

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: IEC <i>Standard Invers</i>
FLA Beban	: 699,8 A (FLA Primer New Trafo1)
<i>CT Ratio</i>	: 1.000 / 5
Isc Minimum Bus 29	: 14.610 A
Isc Maksimum Bus 29	: 16.450 A
Isc Maksimum FR-00-SG-1	: 2.220 A
Tegangan	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB OUT 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 699,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 699,8$$

$$734,79 < \text{Iset} < 979,92$$

$$\frac{734,79}{1.000} I_n < \text{Tap} < \frac{979,92}{1.000} I_n$$

$$0,73 I_n < \text{Tap} < 0,979 I_n$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,77

dengan Iset = 769,78 A (0,77 x 1.000)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}} \right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{16.450}{0,77 \times 1.000} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,13$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,13

Instantaneous Pickup

$$Isc \text{ max} \times \frac{kV \text{ sekunder}}{kV \text{ primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times Isc \text{ min}$$

$$2.220 \times \frac{11}{33} < I_{\gg} < 0,8 \times 14.610$$

$$740 < I_{\gg} < 11.688$$

$$\frac{740}{1.000} In < Tap < \frac{11.688}{1.000} In$$

$$0,7 In < Tap < 11,69 In$$

memiliki *tap range* : 0,08 – 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 6,45 In

dengan Iset = 6.450 A (6,45 x 1.000)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik.

RELAY BUS 1

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: Standart Inverse
FLA	: 699,8 A

(catatan : seharusnya FLA pada Relay Bus 1 sebesar 2.500 A sesuai dengan *rating* dari bus FR-00-SG1 dan FR-00-SG2 , namun dipilih 699,8 A karena dirasa sudah cukup untuk mengatasi gangguan yang mungkin terjadi. Karena bus akan dilewati arus sebesar 2.500 A hanya pada saat gangguan terjadi di 5 NEW LOAD pada waktu yang bersamaan.)

<i>CT Ratio</i>	: 1.000 / 5
Isc Minimum FR-00-SG-1	: 4.230 A
Isc Maksimum FR-00-SG-1	: 4.550 A
Tegangan	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB BUS 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA Beban} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban} \\
 1,05 \times 699,8 &< I_{set} < 1,4 \times 699,8 \\
 734,79 &< I_{set} < 979,92 \\
 \frac{734,79}{1.000} I_n &< \text{Tap} < \frac{979,92}{1.000} I_n \\
 0,73 I_n &< \text{Tap} < 0,98 I_n
 \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,8
dengan $I_{set} = 800 \text{ A } (0,8 \times 1.000)$

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

$$\begin{aligned}
 t_d(I) &= \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta} \\
 0,3 &= \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97} \\
 T &= \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} \\
 T &= \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4.550}{0,8 \times 1.000}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}
 \end{aligned}$$

$$T = 0,23$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,23

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc min}$$

$$1,6 \times 699,8 < I_{\gg} < 0,8 \times 4.230$$

$$1.119,68 < I_{\gg} < 3.384$$

$$\frac{1.119,68}{1.000} In < \text{Tap} < \frac{3.384}{1.000} In$$

$$1,12 In < \text{Tap} < 3,38 In$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 2,10 *In*

dengan *Iset* = 2.100 A (2,10 x 1.000)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik.

RELAY OUT FR

Manufacturer : ALSTOM

Model : P343

Curve Type : IEC *Standard Invers*

FLA Beban : 699,8 A

(catatan : FLA dipilih sebesar 699,8 A dengan pertimbangan yang sama dengan Relay Bus 1)

CT Ratio : 800 / 5

Isc Minimum FR-00-SG-1 : 4.650 A

Isc Maksimum FR-00-SG-1 : 5.330 A

Tegangan : 33 kV

Output : CB OUT FR

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 699,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 699,8$$

$$734,79 < \text{Iset} < 979,92$$

$$\frac{734,79}{800} In < \text{Tap} < \frac{979,92}{800} In$$

$$0,92 \text{ In} < \text{Tap} < 1,22 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In
dipilih *tap* = 0,962

dengan Iset = 769,6 A (0,962 x 800)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{5.330}{0,96 \times 800}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,42$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,42

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min}$$

$$1,6 \times 699,8 < I_{\gg} < 0,8 \times 4.650$$

$$1.119,68 < I_{\gg} < 3.720$$

$$\frac{1.119,68}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3.720}{800} \text{ In}$$

$$1,4 \text{ In} < \text{Tap} < 4,65 \text{ In}$$

memiliki *tap range* : 0,08 – 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 3,37 In

dengan Iset = 2.696 A (3,37 x 800)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,5 detik.

RELAY NEW FUTURE RING

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: IEC <i>Standard Invers</i>
FLA Beban	: 699,8 A
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5
Isc Minimum Bus 35	: 10.938 A
Isc Maksimum Bus 35	: 12.630 A
Tegangan	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB NEW FUTURE RING

Time Overcurrent Pickup

RELAY NEW FUTURE RING merupakan *backup* dari RELAY OUT FR sehingga dipilih :

Tap = 1

Iset = 800 A

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,7 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$
$$0,7 = \frac{0,14}{\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$
$$T = \frac{0,7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$
$$T = \frac{0,7 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{12.630}{1 \times 800}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

T = 0,85

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 1,2

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times Isc \text{ min}$$

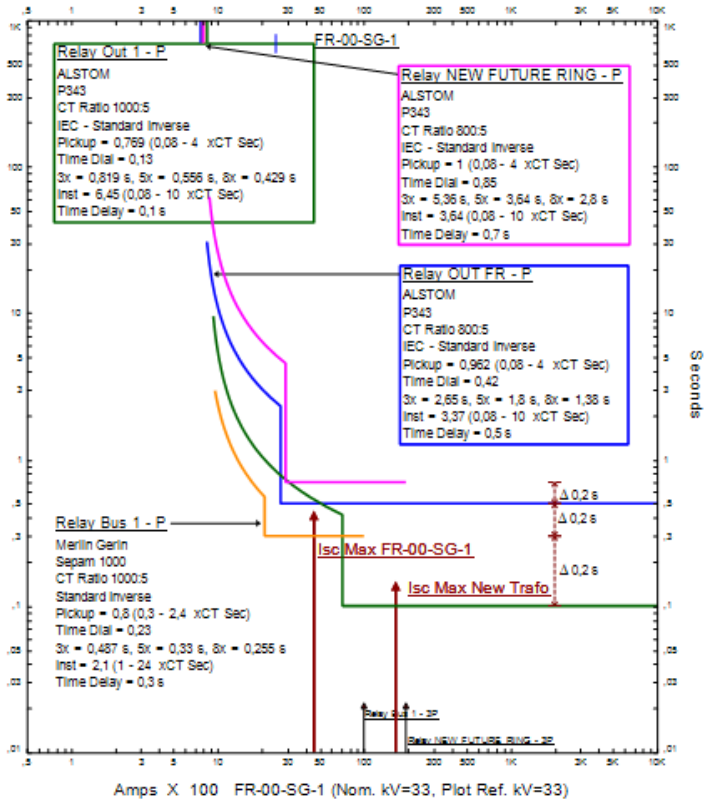
$$\begin{aligned}
 1,6 \times 699,8 &< I_{>>} < 0,8 \times 10.938 \\
 1.119,68 &< I_{>>} < 8.750,06 \\
 \frac{1.119,68}{800} I_n &< \text{Tap} < \frac{8.750,06}{800} I_n \\
 1,4 I_n &< \text{Tap} < 10,94 I_n
 \end{aligned}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08–10 x CT sek dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 3,64 *In*, dengan *Iset* = 2.912 A (3,64 x 800)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,5 detik.

Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan TCC sebagai berikut



Gambar 4. 12 Time-Current Characteristic Curve Tipikal Utama 4A

Dari kurva TCC dapat diketahui :

- Saat terjadi hubung singkat pada primer NEW TRAFO 1 maka Relay Out 1 akan *open* untuk melindungi bus FR-00-SG-01
- Saat terjadi hubung singkat pada bus FR-00-SG-01 maka Rele Bus 1 akan trip pada detik ke 0,1 agar tidak terjadi gangguan pada sistem *ring*. Kemudian Relay OUT FR pada detik ke 0,3 dan Relay New Future Ring pada detik ke 0,5 akan melindungi sistem integrasi yang menuju ke Tursina.
- Dapat dilihat juga *grading time* antar rele sudah sesuai standart yaitu 0,2 detik.

Berikut ini perhitungan manual parameter-parameter dari masing-masing rele tipikal utama 4B :

RELAY TRAFO

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P343
<i>Curve Type</i>	: IEC <i>Standard Invers</i>
FLA Beban	: 874,80 A (FLA sekunder IT TURSINA)
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5
Isc Minimum TU-SG-01	: 4.040 A
Isc Maksimum TU-SG-01	: 4.630 A
Tegangan	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB INC-2

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 874,80 < \text{Iset} < 1,4 \times 874,80$$

$$918,54 < \text{Iset} < 1.224,72$$

$$\frac{918,54}{800} In < \text{Tap} < \frac{1.224,72}{800} In$$

$$1,15 In < \text{Tap} < 1,53 In$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08 – 4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 1,2

dengan Iset = 960 A (1,2 x 800)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,9 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,9 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,9 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,9 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{4.630}{1,2 \times 800}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,61$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,95

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{>>} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min}$$

$$1,6 \times 874,80 < I_{>>} < 0,8 \times 4.040$$

$$1.399,68 < I_{>>} < 3.230$$

$$\frac{1.399,68}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{3.230}{800} \text{ In}$$

$$1,75 \text{ In} < \text{Tap} < 4,04 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 0,08–10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 4 In

dengan Iset = 3.200 A (4 x 800)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,7 detik.

OCR SP51

Manufacturer

: MERLIN GERIN

Model

: SEPAM 1000

Curve Type

: *Standard Invers*

FLA Beban

: 874,80 A

<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5
Isc Minimum Bus 36	: 12.200 A
Isc Maksimum Bus 36	: 13.800 A
Isc Maksimum 00-SG-05	: 4.850 A
Tegangan	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB SP-51

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 874,80 < I_{set} < 1,4 \times 874,80$$

$$918,54 < I_{set} < 1.224,72$$

$$\frac{918,54}{800} I_n < \text{Tap} < \frac{1.224,72}{800} I_n$$

$$1,15 I_n < \text{Tap} < 1,53 I_n$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2, 4 x CT sekunder dengan *step* 0,05 *In*

dipilih *tap* = 1,25

dengan $I_{set} = 1.000 (1,25 \times 800)$

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{13.800}{1,25 \times 800}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,11$$

Namun dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,75

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
I_{sc \max} \times \frac{\text{kV sekunder}}{\text{kV primer}} &< I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \min} \\
4.850 \times \frac{33}{33} &< I_{\gg} < 0,8 \times 14.610 \\
4.850 &< I_{\gg} < 11.688 \\
\frac{4.850}{1.000} I_n &< \text{Tap} < \frac{11.688}{1.000} I_n \\
4,85 I_n &< \text{Tap} < 11,69 I_n
\end{aligned}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 – 24 x CT sekunder dengan *step* 0,1 *In*
dipilih *tap* = 6,6 *In*, dengan *Iset* = 5.280 A (6,6 x 800)

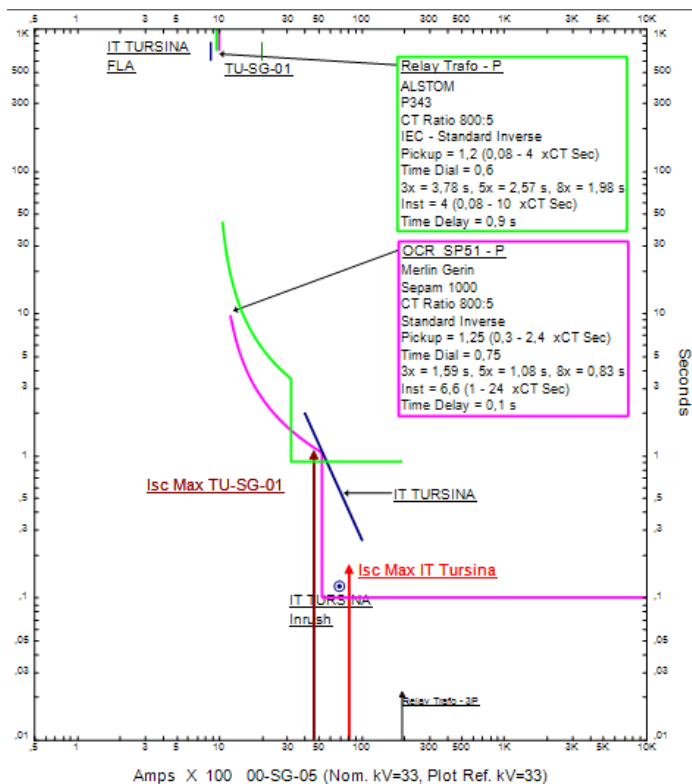
Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik.

Dari perhitungan rele pada Tipikal Utama 4B didapatkan TCC seperti gambar 4.13

Mengacu pada gambar 4.13 dapat diketahui :

- Relay Trafo berfungsi untuk mengamankan transformator IT TURSINA saat terjadi arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Pada rele OCR_SP51, arus gangguan menyentuh kurva *invers* karena rele tersebut terletak di atas transformator sehingga kurva *instan* berfungsi untuk melindungi system ring 33 kV KDM ketika terjadi *short circuit* pada transformator tersebut.



Gambar 4. 13 Time-Current Characteristic Curve Tipikal Utama 4B

Pada Tipikal Utama 4 juga dilengkapi dengan rele *directional*, berikut parameternya :

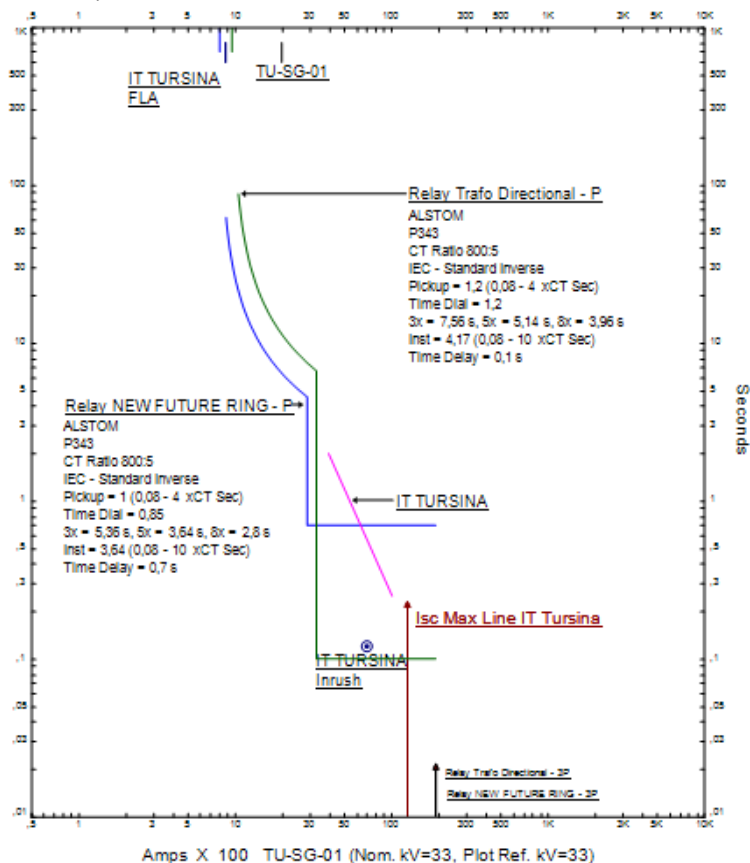
RELAY DIRECTIONAL TRAF0 (REVERSE)

RELAY DIRECTIONAL TRAF0 merupakan *reverse* dari RELAY TRAF0, sehingga untuk Tap, Iset, dan TDS memiliki *setting* yang sama. Sedangkan untuk time *delay* kita pilih 0,1 detik. RELAY DIRECTIONAL TRAF0 digunakan untuk mengatasi *short circuit* yang sering terjadi pada jaringan diantara trafo IT Tursina dan bus TUS-SG-01 yang menuju ke sistem Tursina dan *Future New Ring*.

Relay directional menggunakan hubungan antara fasa arus dan fasa tegangan untuk menentukan arah gangguan, jika di *setting reverse* maka rele akan bekerja saat arus gangguan berlawanan dari arah CT.

Setting

Tap : 1,2
 Iset : 962,28 A
 TDS : 0,47
 Time delay : 0,1s

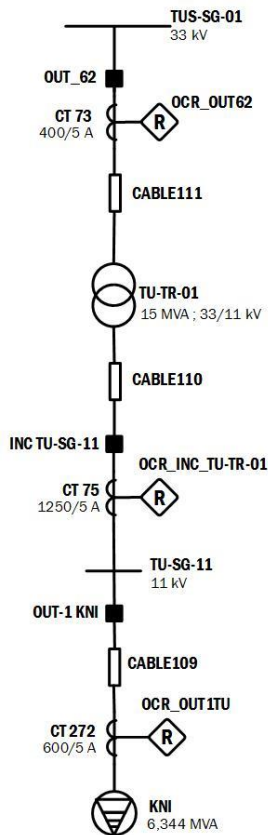


Gambar 4. 14 Time-Current Characteristic Curve Relay Trafo Directional

Dapat dilihat dari gambar 4.15 saat terjadi hubung singkat maka *Relay* Trafo *Directional* akan langsung trip pada detik ke 0,1 sehingga arus gangguan tidak mengganggu sistem di Tursina dan *Future New Ring*.

4.3.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Lain 1

Tipikal lain merupakan seluruh tipikal yang ada di Tursina. Pada Tursina terdapat beberapa *relay* yang perlu kita lihat apakah koordinasi nya masih baik setelah terintegrasi dengan *Future New Ring*. Tipikal lain ini dibagi menjadi 3 tipikal yaitu tipikal lain 1, 2, dan 3. Berikut ini *single line diagram* dari Tipikal Lain 1



Gambar 4. 15 Tipikal Lain 1 Tursina

Sebelum dilakukan *setting relay* dilakukan terlebih dahulu analisis dari kondisi eksisting. Hasil simulasi dan kurva dapat dilihat pada gambar 4.17 dan 4.18.

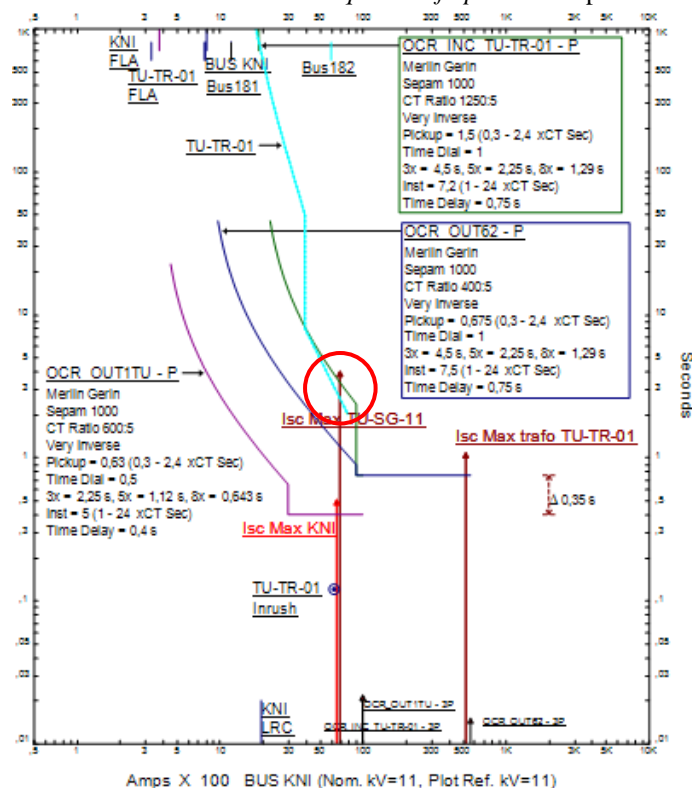
Sequence-of-Operation Events - Output Report: NPK & KCL

3-Phase (Symmetrical) fault on connector between BUS KNI & KNI. Adjacent bus: BUS KNI

Data Rev.: Base Config: SCmax Date: 05-12-2016

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
345	OCR_OUT1TU...	5,313	345		Phase - OC1 - 51
355	CB263		10,0		Tripped by OCR_OUT1TU Phase - OC1 - 51
405	OUT-1 KNI		60,0		Tripped by OCR_OUT1TU Phase - OC1 - 51
4908	OCR_INC...	5,313	4908		Phase - OC1 - 51
4968	INC TU-SG...		60,0		Tripped by OCR_INC_TU-TR-01 Phase - OC1 - 51

Gambar 4. 16 Hasil simulasi *sequence of operation* Tipikal Lain 1



Gambar 4. 17 Plot TCC eksisting Tipikal Lain 1

Dari hasil simulasi dan TCC terlihat ada beberapa kesalahan yaitu :

- Rele OCR_OUT1TU yang bekerja pada waktu 0,345 detik seharusnya bekerja pada 0,1 detik, selain itu grading time dan time delay dari tiap rele masih kurang tepat.
- *Pick-up overcurrent* dan *instantaneous* Rele OCR_INC_TU-TR-01 melebihi standart Sehingga saat terjadi hubung singkat pada bus TU-SG-11 rele gagal mengamankan trafo TU-TR-01.
- *Time delay* dari rele OCR_OUT62 seharusnya 0,1 karena terletak setelah trafo.
- Selain itu beberapa rele justru mendeteksi gangguan seperti relay OUT-1KNI (dapat dilihat dari gambar 4.16)

Oleh karena itu diperlukan *resetting* dengan perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele

OCR_OUT1TU

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse</i>
FLA Beban	: 332,9 A (FLA <i>lumped load</i> KNI)
<i>CT Ratio</i>	: 600 / 5
Isc Minimum Bus KNI	: 5.720 A
Isc Maksimum Bus KNI	: 6.570 A
Tegangan	: 11 kV
<i>Output</i>	: CB OUT-1 KNI

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 332,9 < \text{Iset} < 1,4 \times 332,9$$

$$349,55 < \text{Iset} < 466,06$$

$$\frac{349,55}{600} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{466,06}{600} \text{ In}$$

$$0,58 \text{ In} < \text{Tap} < 0,78 \text{ In}$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 0,612

dengan Iset = 367,2 A (0,612 x 600)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0.02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0.02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{6.570}{0,612 \times 600}\right)^{0.02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,13$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,13

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,6 \times 332,90 < I_{\gg} < 0,8 \times 5.720$$

$$532,64 < I_{\gg} < 4.576$$

$$\frac{532,64}{600} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{4.576}{600} \text{ In}$$

$$0,89 \text{ In} < \text{Tap} < 7,63 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 3,33 In

dengan Iset = 1.998 A (3,33 x 600)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik.

OCR INC TU-TR-01

Manufacturer : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

Curve Type : *Standart Inverse*

FLA Beban : 787,3 A

CT Ratio : 1.250 / 5
Isc Minimum TU-SG-11 : 6.020 A
Isc Maksimum TU-SG-11 : 6.920 A
Tegangan : 11 kV
Output : CB INC TU-SG-11

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 787,3 < I_{set} < 1,4 \times 787,3$$

$$826,67 < I_{set} < 1102,22$$

$$\frac{826,67}{1.250} In < \text{Tap} < \frac{1102,22}{1.250} In$$

$$0,66 In < \text{Tap} < 0,88 In$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 0,45

dengan $I_{set} = 562,5 \text{ A}$ ($0,45 \times 1.250$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc \text{ Max bus}}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc \text{ Max bus}}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{6,920}{0,45 \times 1.250}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,45$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,6

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$\begin{aligned}
 1,6 \times 787,3 &< I_{\gg} < 0,8 \times 6.020 \\
 1.259,68 &< I_{\gg} < 4.816 \\
 \frac{1.259,68}{1.250} In &< \text{Tap} < \frac{4.816}{1.250} In \\
 1,01 In &< \text{Tap} < 3,85 In
 \end{aligned}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 3,78 *In*
dengan *Iset* = 4.720 A (3,78 x 1.250)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik.

OCR OUT62

Manufacturer : MERLIN GERIN
Model : SEPAM 1000
Curve Type : *Standart Inverse*
FLA Beban : 262,4 A
CT Ratio : 400 / 5
Isc Minimum Bus 182 : 15.570 A
Isc Maksimum Bus 182 : 17.510 A
Isc Maksimum tus-sg-01 : 756 A
Tegangan : 33 kV
Output : CB OUT_62

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA Beban} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban} \\
 1,05 \times 262,4 &< \text{Iset} < 1,4 \times 262,4 \\
 275,52 &< \text{Iset} < 367,36 \\
 \frac{275,52}{400} In &< \text{Tap} < \frac{367,36}{400} In \\
 0,69 In &< \text{Tap} < 0,92 In
 \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,721
dengan *Iset* = 288,4 A (0,721 x 400)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0.02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0.02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{17.510}{0,721 \times 400}\right)^{0.02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,9$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,9

Instantaneous Pickup

$$I_{sc} \text{ max} \times \frac{\text{kV sekunder}}{\text{kV primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min}$$

$$756 \times \frac{11}{33} < I_{\gg} < 0,8 \times 15.570$$

$$252 < I_{\gg} < 12.456$$

$$\frac{252}{400} I_n < \text{Tap} < \frac{12.456}{400} I_n$$

$$0,63 I_n < \text{Tap} < 31,14 I_n$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

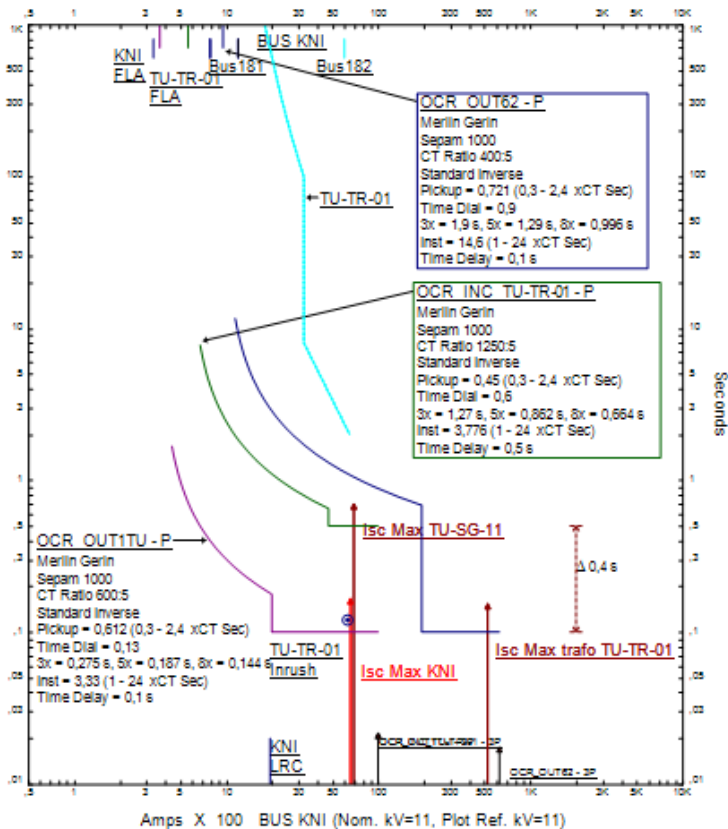
dipilih *tap* = 14,6 *In*

dengan *Iset* = 5.840 A (14,6 x 400)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik.

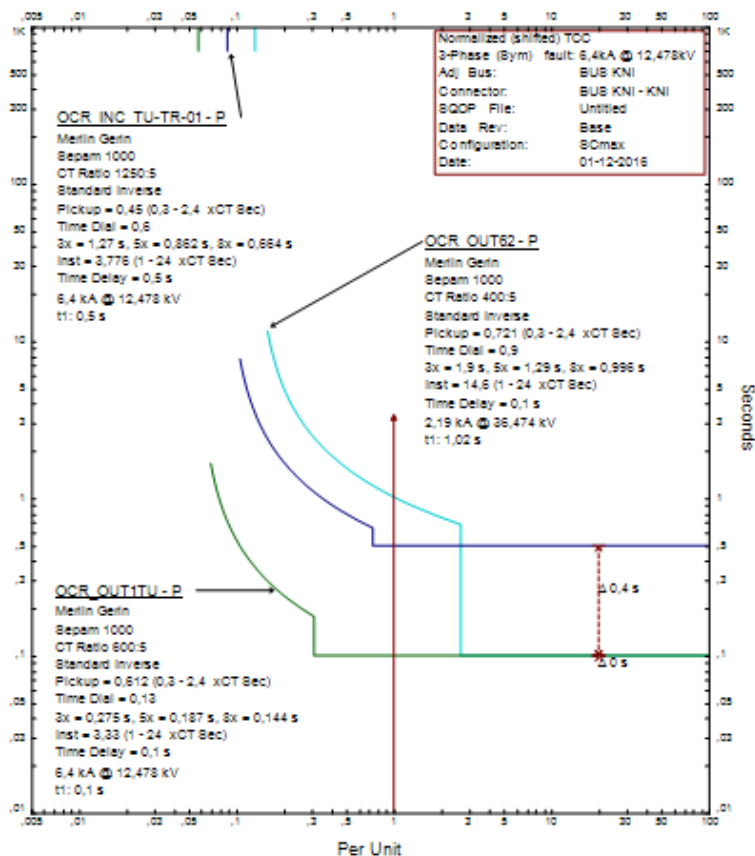
Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* seperti pada gambar 4.18 dan 4.19.



Gambar 4. 18 Time-Current Characteristic Curve resetting Tipikal Lain 1 dalam satuan ampere

Dari kurva pada gambar 4.18 dapat dilihat :

- Rele OCR_OUT1TU berfungsi sebagai pengaman dari beban KNI saat terjadi arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Rele OCR INC TU-TR-01 akan melindungi trafo TU-TR-01 saat terjadi arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Saat terjadi hubung singkat pada trafo TU-TR-01 rele OCR OUT62 akan trip untuk melindungi bus TU-SG-01.



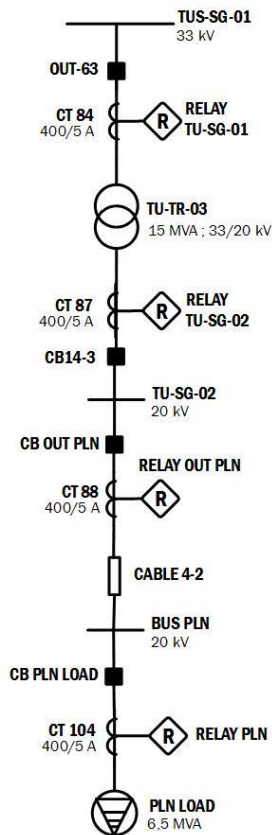
Gambar 4. 19 Time-Current Characteristic Curve resetting Tipikal Lain 1 dalam satuan *per unit* (p.u.)

Dari gambar 4.19 dapat dilihat koordinasi rele-rele pada Tipikal Lain 1 saat terjadi hubung singkat 3 fasa ke tanah pada beban KNI rele OCR_OUT1TU akan *trip* pada detik ke 0,1 detik. Rele OCR INC TU-TR-01 akan menjadi *backup*. Pada rele OCR OUT62, arus gangguan menyentuh kurva *invers* karena rele tersebut terletak di atas transformator sehingga kurva *instan* berfungsi untuk melindungi sistem ketika terjadi *short circuit* pada transformator tersebut. *Grading time*

antara rele OCR INC TU-TR-01 dan OCR_OUT1TU sebesar 0,4 sekon karena untuk rele OCR INC TU-TR-01 terletak di atas rele lain di bawah bus TU-SG-11 yaitu OCR_OUT2TU sehingga *grading time* 0,2 sekon berkalu kepada rele OCR_OUT81 terhadap rele tersebut.

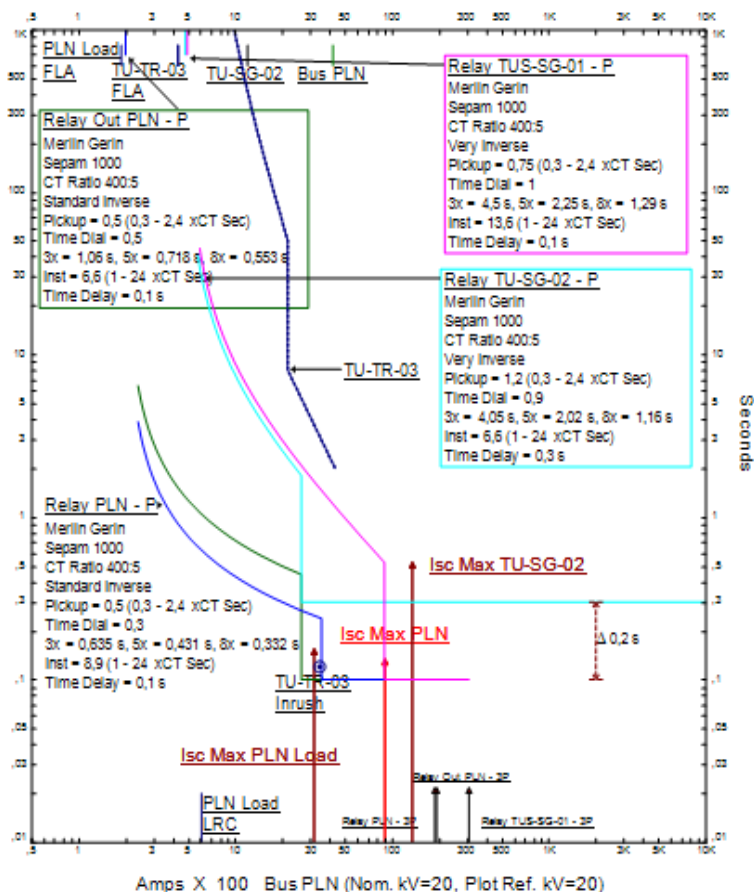
4.3.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Lain 2

Selanjutnya terdapat Tipikal Lain 2 pada Tursina. Single line diagram tipikal lain 2 dapat dilihat pada gambar 4.16



Gambar 4. 20 Tipikal Lain 2 Tursina

Keseluruhan *setting relay* untuk tipikal lain 2 pada keadaan eksisting dapat digambarkan melalui hasil simulasi dan kurva TCC (*Time Current Characteristic*) seperti gambar 4.21 dan 4.22



Gambar 4. 21 Time-Current Characteristic Curve Eksisting Tipikal Lain 2

Sequence-of-Operation Events - Output Report: NPK & KCL					
3-Phase (Symmetrical) fault on connector between PLN Load & CT30. Adjacent bus: Bus PLN					
Data Rev.: Base		Config: SCmax		Date: 02-12-2016	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
100	Relay PLN	14,705	100		Phase - OC1 - 50
200	CB PLN Load		100		Tripped by Relay PLN Phase - OC1 - 50
460	Relay Out P...	2,413	460		Phase - OC1 - 51
560	CB Out PLN		100		Tripped by Relay Out PLN Phase - OC1 - 51
2011	Relay TU-S...	2,413	2011		Phase - OC1 - 51
2111	CB14-3		100		Tripped by Relay TU-SG-02 Phase - OC1 - 51
2178	Relay TUS-...	1,54	2178		Phase - OC1 - 51
2278	OUT-63		100		Tripped by Relay TUS-SG-01 Phase - OC1 - 51
2966	Relay Trafo	0,805	2966		Phase - OC1 - 51
3066	INC-2		100		Tripped by Relay Trafo Phase - OC1 - 51
4316	Relay NEW ...	0,735	4316		Phase - OC1 - 51
4416	CB NEW F...		100		Tripped by Relay NEW FUTURE RING Phase - ...

Gambar 4. 22 Hasil simulasi *sequence of operation* Tipikal Lain 2

Mengacu dari gambar 4.21 dan 4.22 dapat diketahui masih terdapat kesalahan *grading time* dari setiap rele. Seharusnya Relay OUT PLN, dan Relay TU-SG-02 tidak memiliki *time dial* 0,1 detik sama dengan Relay PLN, akan lebih baik jika terdapat *grading time* sebesar 0,2-0,3 detik. Selain itu Relay TU-SG-02 juga seharusnya memiliki nilai *pickup* yang lebih besar pada kurva *instan* karena merupakan *backup* dari Relay OUT PLN.

Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan ulang parameter-parameter relay untuk melakukan *resetting*

RELAY PLN

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse</i>
FLA Beban	: 187,6 A (FLA PLN LOAD)
<i>CT Ratio</i>	: 400 / 5
Isc Minimum Bus 37	: 2.780 A
Isc Maksimum Bus 37	: 3.190 A
Tegangan	: 20 kV
<i>Output</i>	: CB PLN LOAD

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 187,6 < I_{set} < 1,4 \times 187,6$$

$$196,98 < I_{set} < 262,24$$

$$\frac{196,98}{400} In < \text{Tap} < \frac{262,24}{400} In$$

$$0,49 In < \text{Tap} < 0,66 In$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 0,516

dengan $I_{set} = 206,36 \text{ A}$ ($0,516 \times 400$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{3.190}{0,516 \times 400}\right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,12$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,4

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}}$$

$$1,6 \times 187,6 < I_{\gg} < 0,8 \times 2.780$$

$$300,16 < I_{\gg} < 2.224$$

$$\frac{300,16}{400} In < \text{Tap} < \frac{2.224}{400} In$$

$$0,75 In < \text{Tap} < 5,56 In$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih $tap = 2,8 In$
 dengan $I_{set} = 1.125 \text{ A}$ ($2,8 \times 400$)

Time delay

dipilih $time \text{ delay} = 0,1 \text{ detik}$.

RELAY OUT PLN

Manufacturer : MERLIN GERIN
Model : SEPAM 1000
Curve Type : *Standart Inverse*
 FLA Beban : 433 A
 CT Ratio : 400 / 5
 Isc Minimum Bus PLN : 7.820 A
 Isc Maksimum Bus PLN : 9.030 A
 Tegangan : 20 kV
 Output : CB OUT PLN

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA Beban} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban} \\
 1,05 \times 433 &< I_{set} < 1,4 \times 433 \\
 527,1 &< I_{set} < 702,80 \\
 \frac{527,1}{400} In &< \text{Tap} < \frac{702,80}{400} In \\
 1,32 In &< \text{Tap} < 1,76 In
 \end{aligned}$$

memiliki $tap \text{ range} : 0,3 - 2,4 \times \text{CT sekunder}$ dengan $step 0,01 In$
 dipilih $tap = 1,38$
 dengan $I_{set} = 552 \text{ A}$ ($1,32 \times 400$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{Is}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{9.030}{(1,32 \times 400)} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,37$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,9

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min}$$

$$1,6 \times 433 < I_{\gg} < 0,8 \times 7.820$$

$$803,20 < I_{\gg} < 6.256$$

$$\frac{803,20}{400} I_n < \text{Tap} < \frac{6.256}{400} I_n$$

$$2,01 I_n < \text{Tap} < 15,64 I_n$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 8 *In*

dengan *Iset* = 3.200 A (8 x 400)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik.

RELAY TU-SG-02

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse</i>
<i>FLA Beban</i>	: 433 A (FLA sekunder trafo TU-TR-03)
<i>CT Ratio</i>	: 400 / 5
<i>Isc Minimum TU-SG-02</i>	: 11.680 A
<i>Isc Maksimum TU-SG-02</i>	: 13.500 A
<i>Tegangan</i>	: 20 kV
<i>Output</i>	: CB 14-3

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 433 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 433$$

$$454,65 < I_{\text{set}} < 606,20$$

$$\frac{454,65}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{606,20}{400} \text{ In}$$

$$1,14 \text{ In} < \text{Tap} < 1,52 \text{ In}$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 1,2

dengan $I_{\text{set}} = 480 \text{ A}$ ($1,2 \times 400$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,5 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{sc Max bus}}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{\text{sc Max bus}}}{\text{tap} \times \text{CT primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,5 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{13.500}{1,2 \times 400} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,73$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 1,1

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \times 433 < I_{\gg} < 0,8 \times 11.680$$

$$692,80 < I_{\gg} < 9.344$$

$$\frac{692,80}{400} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{9.344}{400} \text{ In}$$

$$1,73 \text{ In} < \text{Tap} < 23,36 \text{ In}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih $tap = 10 In$
 dengan Iset = 4.000 A (10 x 400)

Time delay

dipilih $time\ delay = 0,3\ detik$

RELAY TU-SG-01

Manufacturer : MERLIN GERIN
Model : SEPAM 1000
Curve Type : *Standart Inverse*
 FLA Beban : 262,4 A (FLA primer trafo TU-TR-03)
 CT Ratio : 400 / 5
 Isc Minimum Bus 190 : 11.680 A
 Isc Maksimum Bus 190 : 13.500 A
 Isc Maksimum TU-SG-01 : 1.850 A
 Tegangan : 33 kV
 Output : CB OUT-63

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA\ Beban < Iset < 1,4 \times FLA\ Beban$$

$$1,05 \times 262,4 < Iset < 1,4 \times 262,4$$

$$275,52 < Iset < 367,36$$

$$\frac{275,52}{400} In < Tap < \frac{367,36}{400} In$$

$$0,69 In < Tap < 0,92 In$$

memiliki $tap\ range : 0,3 - 2,4 \times CT\ sekunder$ dengan $step\ 0,01 In$

dipilih $tap = 0,72$

dengan Iset = 288,8 A (0,72 x 400)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{Is}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}} \right)^{0.02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{Isc \text{ Max bus}}{tap \times CT \text{ primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{13.500}{(0,72 \times 400)} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,17$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 1,1

Instantaneous Pickup

$$Isc \text{ max} \times \frac{\text{kV sekunder}}{\text{kV primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times Isc \text{ min}$$

$$1.850 \times \frac{20}{33} < I_{\gg} < 0,8 \times 11.680$$

$$1.233,33 < I_{\gg} < 9.344$$

$$\frac{1.233,33}{400} In < Tap < \frac{9.344}{400} In$$

$$3,08 In < Tap < 23,36 In$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

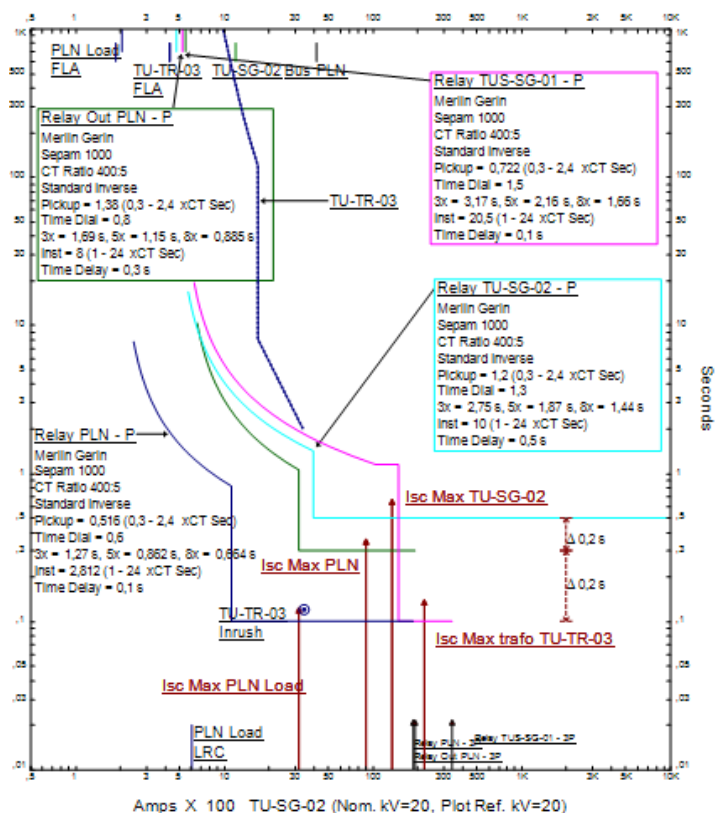
dipilih *tap* = 20,5 *In*

dengan *Iset* = 8.200 A (20,5 x 400)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

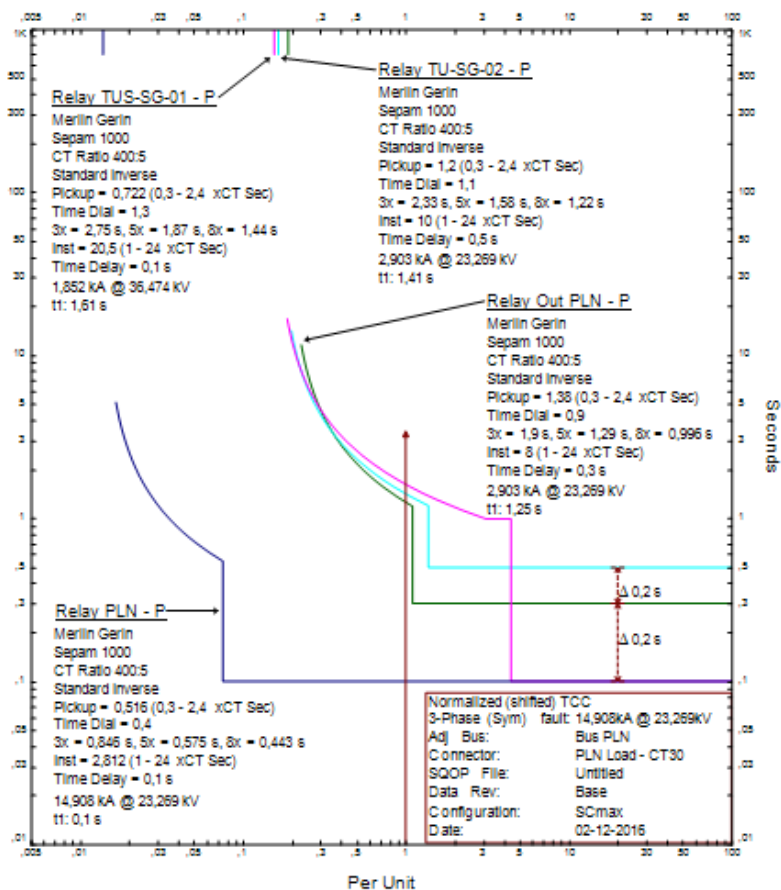
Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* seperti pada gambar 4.23 dan 4.24



Gambar 4. 23 Time-Current Characteristic Curve resetting Tipikal Lain 2 dalam ampere

Dari kurva pada gambar 4.18 dapat diketahui :

- Relay PLN berfungsi sebagai pengaman dari PLN Load saat terjadi arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Relay Out PLN akan melindungi bus TU-SG-02 saat terjadi hubung singkat pada Bus PLN
- Relay TU-SG-02 sebagai pelindung trafo TU-TR-03 saat terjadi arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Relay TU-SG-01 akan melindungi bus TU-SG-01 saat terjadi hubung singkat pada trafo TU-TR-03.



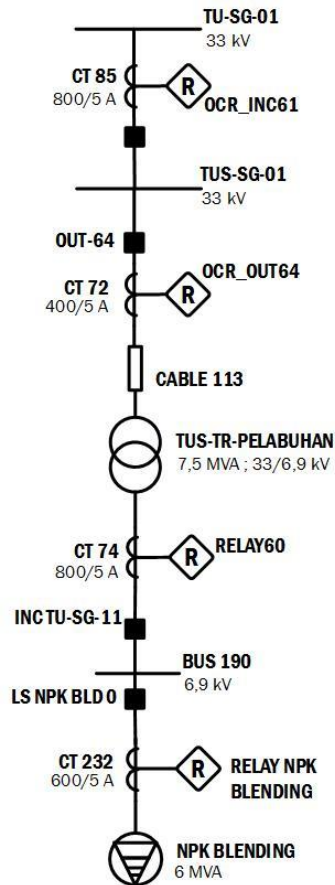
Gambar 4. 24 Time-Current Characteristic Curve resetting Tipikal Lain 2 dalam satuan *per unit* (p.u)

Dari kurva dapat dilihat Relay PLN berfungsi sebagai pengaman dari PLN LOAD saat terjadi hubung singkat 3 fasa ke tanah. Pada Relay Out PLN dan Relay TU-SG-02 arus gangguan menyentuh kurva *invers* karena *pickup* kurva *instan* di *setting* lebih besar untuk melindungi sistem terhadap arus kontribusi dari Utility PLN. Pada Relay TU-SG-01, arus gangguan menyentuh kurva *invers* karena rele tersebut terletak di

atas transformator sehingga kurva *instan* berfungsi untuk melindungi sistem ketika terjadi *short circuit* pada transformator tersebut. Pengaturan grading time antara rele juga sudah sesuai standart yaitu 0,2 detik.

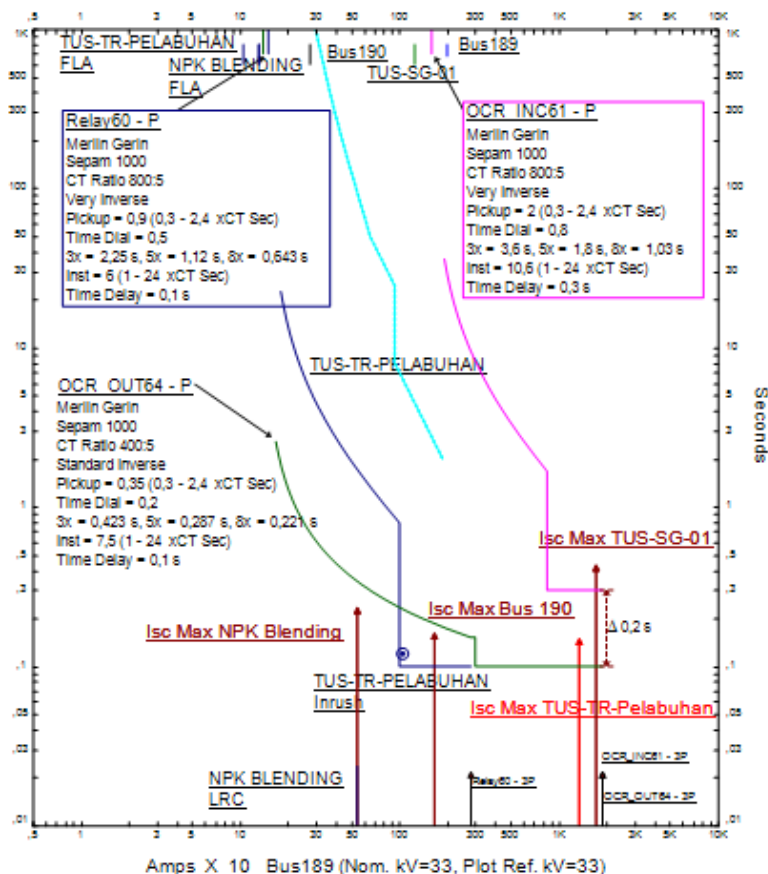
4.3.7 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal Lain 3

Single line diagram tipikal lain 3 dapat dilihat pada gambar 4.25



Gambar 4. 25 Tipikal Lain 3 Tursina

Keseluruhan *setting relay* untuk tipikal lain 2 pada keadaan eksisting dapat digambarkan melalui hasil simulasi dan kurva TCC (*Time Current Characteristic*).



Gambar 4. 26 Time-Current Characteristic Curve Eksisting Tipikal Lain 3

Setelah dilakukan analisa hal yang perlu diperbaiki adalah tidak ada rele yang berfungsi untuk mengamankan NPK Blending *lumped load*. *Time delay* Relay 60 seharusnya 0,3 detik. Pada rele OCR OUT64 seharusnya, arus gangguan menyentuh kurva *invers* bukan *instan* karena rele tersebut

terletak di atas transformator sehingga kurva *instan* berfungsi untuk melindungi sistem ketika terjadi *short circuit* pada transformator tersebut. Oleh karena itu dilakukan perhitungan ulang parameter-parameter rele

RELAY NPK BLENDING

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse</i>
FLA Beban	: 502 A
CT Ratio	: 600 / 5
Isc Minimum Bus 190	: 2.260 A
Isc Maksimum Bus 190	: 2.610 A
Tegangan	: 6,9 kV
Output	: CB LS NPK BLD 0

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 502 < \text{Iset} < 1,4 \times 502$$

$$527,10 < \text{Iset} < 702,80$$

$$\frac{527,10}{600} I_n < \text{Tap} < \frac{702,80}{600} I_n$$

$$0,88 I_n < \text{Tap} < 1,17 I_n$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 0,92

dengan Iset = 552 A (0,92 x 600)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{2.610}{0,92 \times 600} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,07$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,15

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min}$$

$$1,6 \times 502 < I_{\gg} < 0,8 \times 2.260$$

$$803,2 < I_{\gg} < 1.808$$

$$\frac{803,2}{600} I_n < \text{Tap} < \frac{1.808}{600} I_n$$

$$1,34 I_n < \text{Tap} < 3,01 I_n$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 2 *In*

dengan *Iset* = 1.200 A (2 x 600)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

RELAY 60

Manufacturer : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

Curve Type : *Standart Inverse*

FLA Beban : 627,6 A

CT Ratio : 800 / 5

Isc Minimum Bus 190 : 6.920 A

Isc Maksimum Bus 190 : 7.960 A

Tegangan : 6,9 kV

Output : CB INC TU-SG-11

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$\begin{aligned}
1,05 \times 627,6 &< I_{set} < 1,4 \times 627,6 \\
658,98 &< I_{set} < 878,64 \\
\frac{658,98}{400} In &< Tap < \frac{878,64}{400} In \\
0,82 In &< Tap < 1,10 In
\end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,864
dengan $I_{set} = 691,2 \text{ A}$ ($0,864 \times 800$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

$$\begin{aligned}
t_d(I) &= \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta} \\
0,3 &= \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97} \\
T &= \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14} \\
T &= \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{7.960}{0,864 \times 800}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14} \\
T &= 0,32
\end{aligned}$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,32

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
1,6 \times \text{FLA Beban} &< I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ min}} \\
1,6 \times 627,6 &< I_{\gg} < 0,8 \times 6.920 \\
1.004,16 &< I_{\gg} < 5.536 \\
\frac{1.004,16}{800} In &< Tap < \frac{5.536}{800} In \\
1,26 In &< Tap < 6,92 In
\end{aligned}$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 1,97 *In*
dengan $I_{set} = 1.576 \text{ A}$ ($1,97 \times 800$)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

OCR OUT64

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse</i>
FLA Beban	: 874,8 A
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5
Isc Minimum	: 11.740 A
Isc Maksimum	: 13.500 A
Isc Maksimum TU-SG-01	: 708 A
Tegangan	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB OUT-64

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 131,20 < I_{set} < 1,4 \times 131,20$$

$$131,76 < I_{set} < 183,68$$

$$\frac{131,76}{400} I_n < \text{Tap} < \frac{183,68}{400} I_n$$

$$0,34 I_n < \text{Tap} < 0,46 I_n$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

dipilih *tap* = 0,5

dengan $I_{set} = 144 \text{ A}$ ($0,5 \times 400$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,1 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{sc \text{ Max bus}}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{sc} \text{ Max bus}}{\text{tap} \times CT \text{ primer}} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,1 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{13.500}{0,5 \times 400} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T = 0,2$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,5

Instantaneous Pickup

$$I_{sc} \text{ max} \times \frac{\text{kV sekunder}}{\text{kV primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min}$$

$$708 \times \frac{6,9}{33} < I_{\gg} < 0,8 \times 11.740$$

$$148,036 < I_{\gg} < 9.392$$

$$\frac{148,036}{400} In < \text{Tap} < \frac{9.392}{400} In$$

$$0,37 In < \text{Tap} < 23,48 In$$

memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In
dipilih *tap* = 7,2 In

dengan Iset = 2880 A (7,2 x 400)

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

OCR INC61

<i>Manufacturer</i>	: MERLIN GERIN
<i>Model</i>	: SEPAM 1000
<i>Curve Type</i>	: <i>Standart Inverse</i>
FLA Beban	: 874,8 A
<i>CT Ratio</i>	: 800 / 5
Isc Minimum TUS-SG-01	: 15.240 A
Isc Maksimum TUS-SG-01	: 17.210 A
Tegangan	: 33 kV
<i>Output</i>	: CB INC-61

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Beban} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA Beban}$$

$$1,05 \times 874,8 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 874,8$$

$$918,54 < I_{\text{set}} < 1.224,72$$

$$\frac{918,54}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{1.224,72}{800} \text{ In}$$

$$1,15 \text{ In} < \text{Tap} < 1,53 \text{ In}$$

memiliki *tap range* : 0,3 – 2,4 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih *tap* = 1,20

dengan $I_{\text{set}} = 962,4 \text{ A}$ ($0,6 \times 800$)

Time dial

Waktu operasi (t) = 0,3 s

$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{sc Max bus}}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{T}{2,97}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{I_{\text{sc Max bus}}}{\text{tap} \times \text{CT primer}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = \frac{0,3 \times 2,97 \times \left[\left(\frac{17.210}{0,6 \times 800}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$T = 0,38$$

Maka dipilih *time dial setting* (TDS) = 0,6

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Beban} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{\text{sc min}}$$

$$1,6 \times 874,8 < I_{\gg} < 0,8 \times 15.240$$

$$1.399,68 < I_{\gg} < 12.192$$

$$\frac{1.399,68}{800} \text{ In} < \text{Tap} < \frac{12.192}{800} \text{ In}$$

$$1,75 \text{ In} < \text{Tap} < 15,24 \text{ In}$$

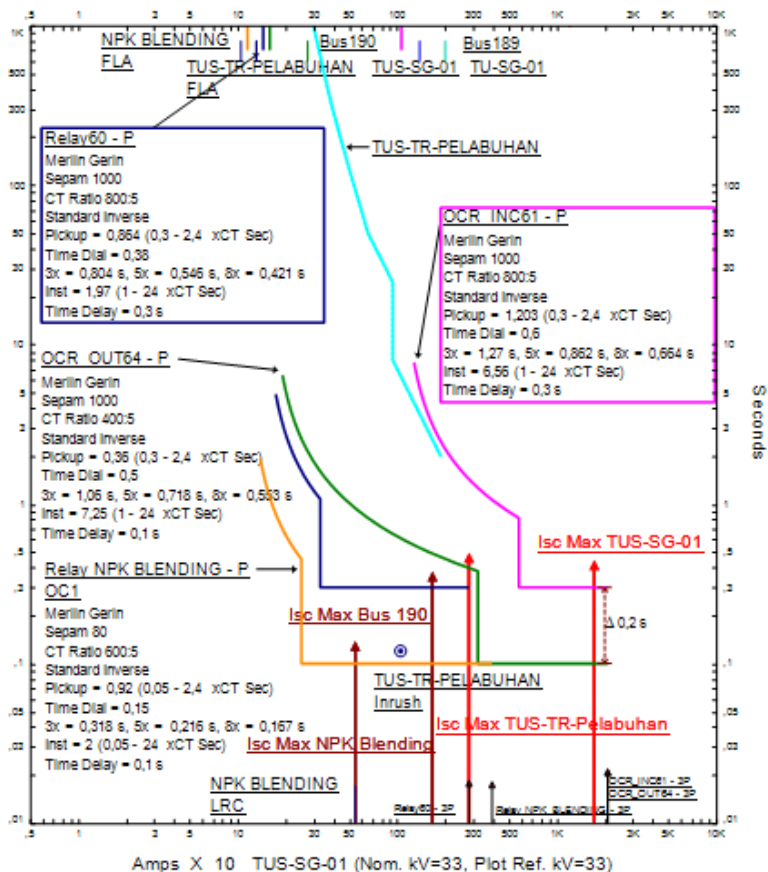
memiliki *tap* dengan *range* : 1 - 24 x CT sekunder dengan *step* 0,01 In

dipilih $tap = 6,56 \text{ In}$
 dengan $I_{set} = 5.248 \text{ A}$ ($6,56 \times 800$)

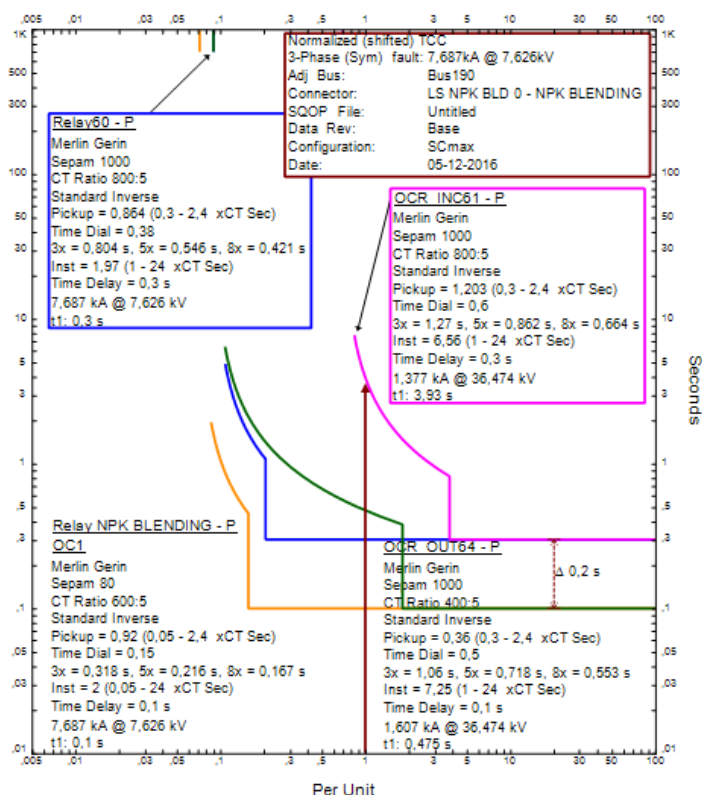
Time delay

dipilih $time \text{ delay} = 0,3 \text{ detik}$

Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* seperti pada gambar 4.27 dan 4.28.



Gambar 4. 27 Time-Current Characteristic Curve resetting Tipikal Lain 3 dalam ampere



Gambar 4. 28 Time-Current Characteristic Curve resetting Tipikal Lain 3dalam satuan *per unit* (p.u.)

Dari gambar 4.27 dan 4.28 dapat disimpulkan :

- Ditambahkan Relay NPK BLENDING yang berfungsi sebagai pengaman dari beban NPK BLENDING saat terjadi hubung singkat dan arus lebih beban penuh.
- Relay 60 akan menjadi *backup* Relay NPK BLENDING dan berfungsi melindungi trafo TU-TR-01 saat terjadi arus lebih beban penuh dan hubung singkat.
- OCR_OUT64 akan melindungi bus TUS-SG-01 saat terjadi hubung singkat pada trafo TUS-TR-PELABUHAN.

- Pada setting rele OCR_INC61 kita harus memperhatikan koordinasi dengan rele-rele yang berada di Tipikal Lain 1 dan Tipikal Lain 2. OCR_INC61 berfungsi untuk melindungi bus TU-SG-01 saat terjadi hubung singkat pada bus TUS-SG-01.

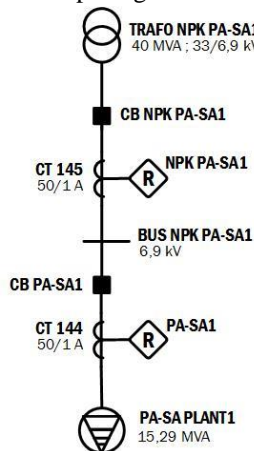
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah

Pada sistem kelistrikan yang baik, rele arus lebih gangguan ke tanah juga harus dikoordinasikan untuk mengatasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Nilai arus hubung singkat tersebut sangat dipengaruhi oleh instalasi *Neutral Grounding Resistor* (NGR) pada peralatan karena nilai arus gangguan maksimal bernilai sama dengan nilai NGR. Parameter yang digunakan hanya *Instantaneous pickup* dan *time delay* saja.

Dalam koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah dapat dilakukan dengan cara pemisahan pada tiap *level* tegangan. Hal tersebut terjadi karena saat gangguan pada satu *level* tegangan, pengaman pada *level* tegangan yang berbeda tidak akan merasakan gangguan tersebut.

4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 1

Tipikal 1 mempunyai *level* tegangan 6,9 kV. *Setting Relay* pada tipikal ini mengikuti NGR TRAFO NPK PA-SA1. Rangkaian *single line diagram* tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4. 29 *Single line diagram* Tipikal 1

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele tipikal 1.

RELAY PA-SA1

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
CT Ratio : 50/1
 NGR trafo NPK PA-SA1 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} &I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR 1TGK-CTG-2} \\ &5\text{-}10\% \times \text{NGR trafo NPK PA-SA1} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR trafo NPK PA-SA1} \\ &5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ &10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ &\frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ &0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n
 dipilih *tap* = 0,4 I_n
 dengan I_{set} = 20 A

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

RELAY NPK PA-SA1

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
CT Ratio : 50/1
 NGR trafo NPK PA-SA1 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} &I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR} \\ &5\text{-}10\% \times \text{NGR trafo NPK PA-SA1} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR trafo NPK PA-SA1} \\ &5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ &10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ &\frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \end{aligned}$$

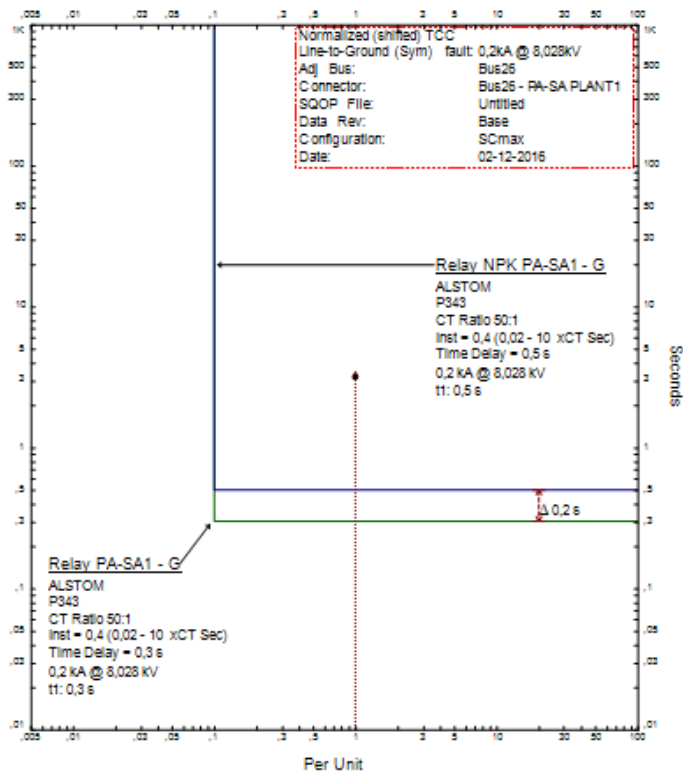
$$0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,4 *In*
dengan *Iset* = 20 A

Time delay

dipilih *time delay* = 0,5 detik

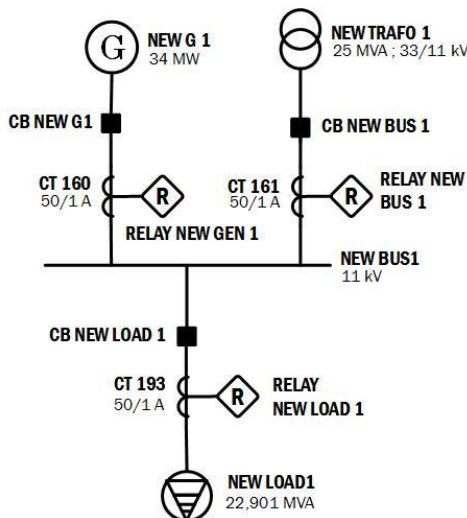
Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* dimana Relay PA-SA1 bekerja terlebih dahulu dan Relay NPK-PA-SA1 bekerja sebagai *backup* saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah seperti pada gambar 4.25.



Gambar 4. 30 *Time-Current Characteristic Curve* resetting Tipikal 1

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 2

Tipikal 2 mempunyai *level* tegangan 11 kV. *Setting Relay* pada tipikal ini mengikuti NGR NEW G1 dan NEW TRAF0 1. Rangkaian *single line diagram* tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.26



Gambar 4. 31 *Single line diagram* Tipikal 2

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele tipikal 2.

RELAY NEW LOAD 1

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
CT Ratio : 50/1
 NGR NEW TRAF01 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc \text{ unbalance}} &< I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAF01} \\ 5\text{-}10\% \times \text{NGR NEW TRAF01} &< I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAF01} \\ 5\% \times 200 \text{ A} &< I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ 10 \text{ A} &< I_{set} < 100 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n
dipilih *tap* = 0,4 I_n
dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

RELAY NEW TRAF01

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
CT Ratio : 50/1
NGR NEW TRAF01 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAF01}$$

$$5\text{-}10\% \times \text{NGR NEW TRAF01} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAF01}$$

$$5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A}$$

$$10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A}$$

$$\frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n
dipilih *tap* = 0,4 I_n
dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

RELAY NEW GEN 1

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
CT Ratio : 50/1
NGR NEW G 1 : 200 A

Instantaneous Pickup

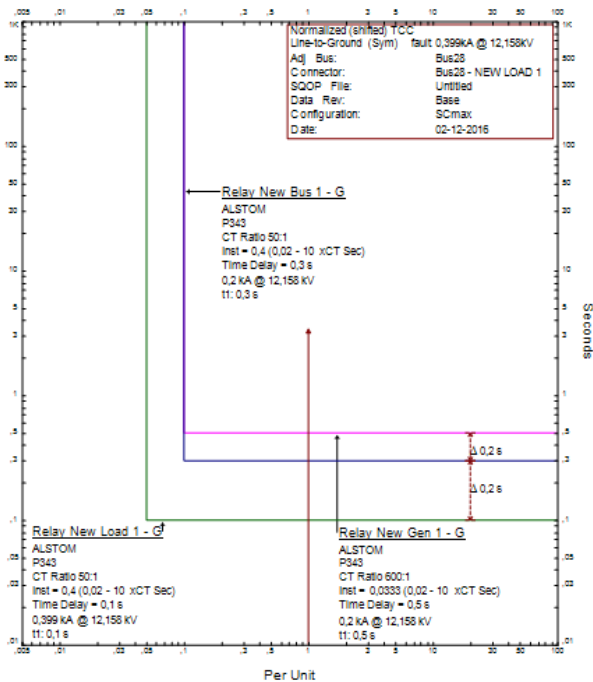
$$\begin{aligned} I_{sc \text{ unbalance}} &< I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW G1} \\ 5\text{-}10\% \times \text{NGR NEW G1} &< I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW G1} \\ 5\% \times 200 \text{ A} &< I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ 10 \text{ A} &< I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n &< \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} &< \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n
dipilih *tap* = 0,4 I_n , dengan I_{set} = 20 A

Time delay

dipilih *time delay* = 0,5 detik

Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* seperti pada gambar 4.25.

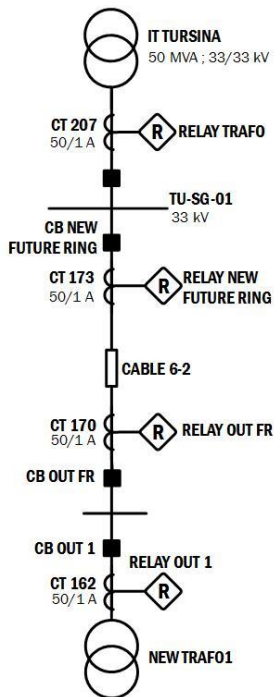


Gambar 4. 32 *Time-Current Characteristic Curve* resetting Tipikal 2

Dapat disimpulkan Relay New Load 1 akan bekerja terlebih dahulu dan Relay New Gen1 dan Relay New Trafo 1 bekerja sebagai *backup* saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah.

4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 3

Tipikal 3 mempunyai *level* tegangan 11 kV. *Setting Relay* pada tipikal ini mengikuti NGR NEW G1 dan NEW TRAFO 1. Rangkaian *single line diagram* tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4. 33 *Single line diagram* Tipikal 3

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele tipikal 3.

RELAY OUT 1

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
CT Ratio : 50/1
NGR NEW TRAFO1 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAFO1} \\ 5-10\% \times \text{NGR NEW TRAFO1} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAFO1} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,4 *In*
dengan *Iset* = 20 A

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

RELAY OUT FR

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
CT Ratio : 50/1
NGR NEW TRAFO1 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAFO1} \\ 5-10\% \times \text{NGR NEW TRAFO1} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAFO1} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,4 *In*

dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih $time \text{ delay} = 0,5 \text{ detik}$

RELAY NEW FUTURE RING

Manufacturer : ALSTOM

Model : P343

CT Ratio : 50/1

NGR NEW TRAF01 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc \text{ unbalance}} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAF01} \\ 5-10\% \times \text{NGR NEW TRAF01} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR NEW TRAF01} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki $tap \text{ range}$: 0,02 - 10 x CT sekunder dengan $step$ 0,01 I_n

dipilih $tap = 0,4 I_n$

dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih $time \text{ delay} = 0,7 \text{ detik}$

RELAY NEW FUTURE RING

Manufacturer : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

CT Ratio : 50/1

NGR IT TURSINA : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc \text{ unbalance}} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR IT TURSINA} \\ 5-10\% \times \text{NGR IT TURSINA} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR IT TURSINA} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \end{aligned}$$

$$0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*

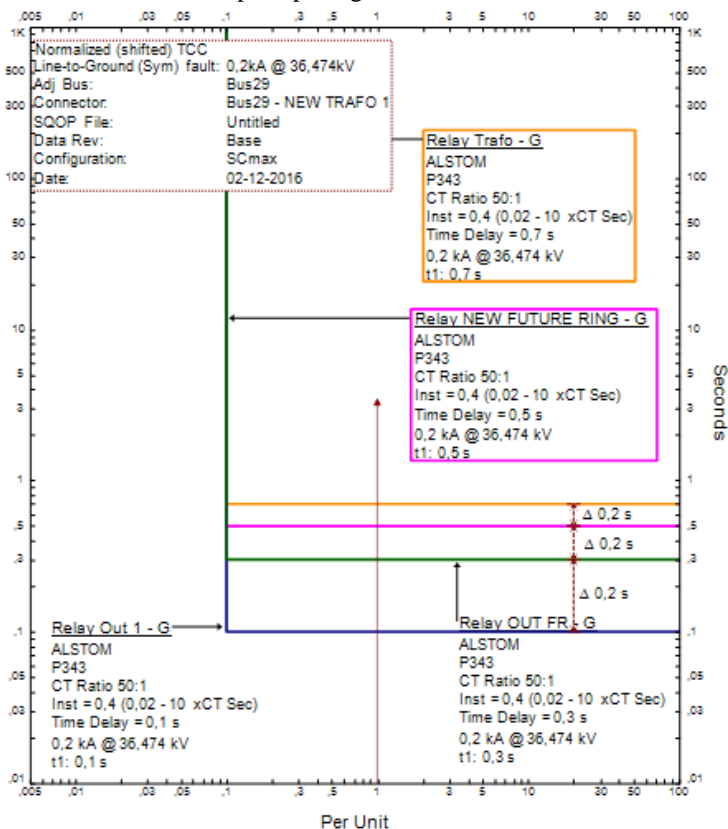
dipilih *tap* = 0,4 *In*

dengan *Iset* = 20 A

Time delay

dipilih *time delay* = 0,9 detik

Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* seperti pada gambar 4.29.

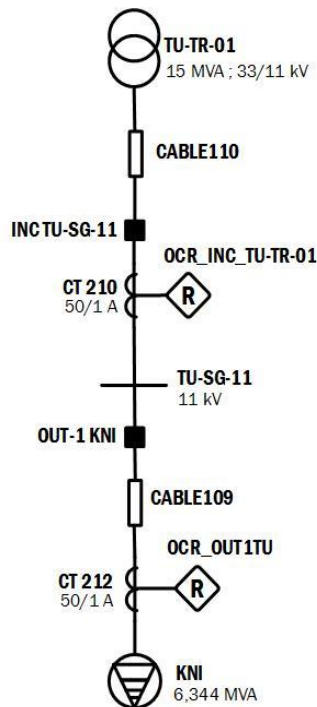


Gambar 4. 34 *Time-Current Characteristic Curve* resetting Tipikal 3

Dapat disimpulkan Relay Out 1 akan bekerja terlebih dahulu dan Relay Out FR, Relay New Future Ring dan Relay Trafo bekerja sebagai *backup* saat terjadi gangguan.

4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 4

Tipikal 4 mempunyai *level* tegangan 11 kV. *Setting Relay* pada tipikal ini mengikuti NGR TRAFO TU-TR-01. Rangkaian *single line diagram* tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.30.



Gambar 4. 35 *Single line diagram* Tipikal 4

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele tipikal 4.

OCR OUT1TU

Manufacturer : MERLIN GERIN
Model : SEPAM 1000
CT Ratio : 50/1
NGR TU-TR-01 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-01} \\ 5\text{-}10\% \times \text{NGR TU-TR-01} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-01} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,4 *In*
dengan *Iset* = 20 A

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

OCR INC TU-TR-01

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
CT Ratio : 50/1
NGR TU-TR-01 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-01} \\ 5\text{-}10\% \times \text{NGR TU-TR-01} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-01} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

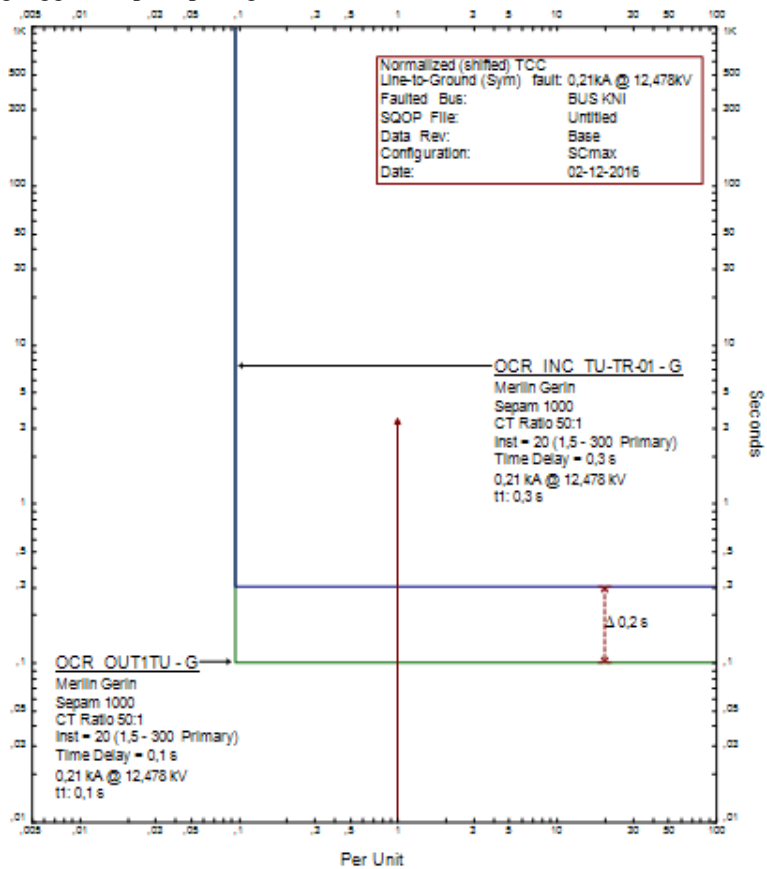
memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 *In*
dipilih *tap* = 0,4 *In*

dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

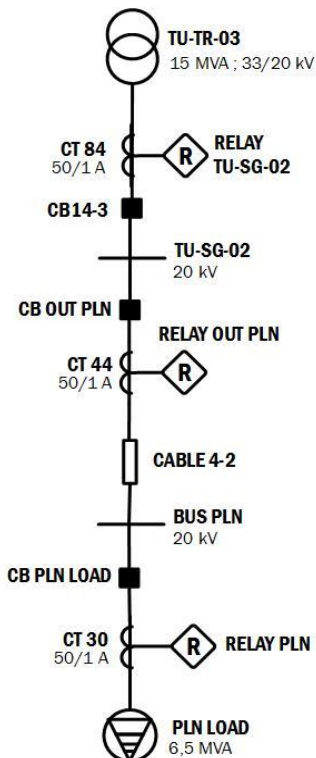
Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* dimana OCR_OUT1TU bekerja terlebih dahulu dan OCR_INC_TU-TR-O1 bekerja sebagai *backup* saat terjadi gangguan seperti pada gambar 4.31.



Gambar 4. 36 *Time-Current Characteristic Curve* resetting Tipikal 4

4.4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 5

Tipikal 5 mempunyai *level* tegangan 20 kV. *Setting Relay* pada tipikal ini mengikuti NGR TRAFO TU-TR-03. Rangkaian *single line diagram* tipikal 5 dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4. 37 *Single line diagram* Tipikal 5

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele tipikal 5.

RELAY PLN

Manufacturer : MERLIN GERIN
Model : SEPAM 1000

CT Ratio : 50/1
 NGR TU-TR-03 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-03} \\ 5\text{-}10\% \times \text{NGR TU-TR-03} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-03} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n
 dipilih *tap* = 0,4 I_n
 dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

RELAY OUT PLN

Manufacturer : MERLIN GERIN
 Model : SEPAM 1000
 CT Ratio : 50/1
 NGR TU-TR-03 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} I_{sc} \text{ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-03} \\ 5\text{-}10\% \times \text{NGR TU-TR-03} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-03} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n
 dipilih *tap* = 0,4 I_n
 dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

RELAY TU-SG-02

Manufacturer : MERLIN GERIN

Model : SEPAM 1000

CT Ratio : 50/1

NGR TU-TR-03 : 200 A

Instantaneous Pickup

$$I_{sc\ unbalance} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-03}$$

$$5\text{-}10\% \times \text{NGR TU-TR-03} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TU-TR-03}$$

$$5\% \times 200\text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200\text{ A}$$

$$10\text{ A} < I_{set} < 100\text{ A}$$

$$\frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n$$

$$0,2\text{ A} < \text{Tap} < 2\text{ A}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n

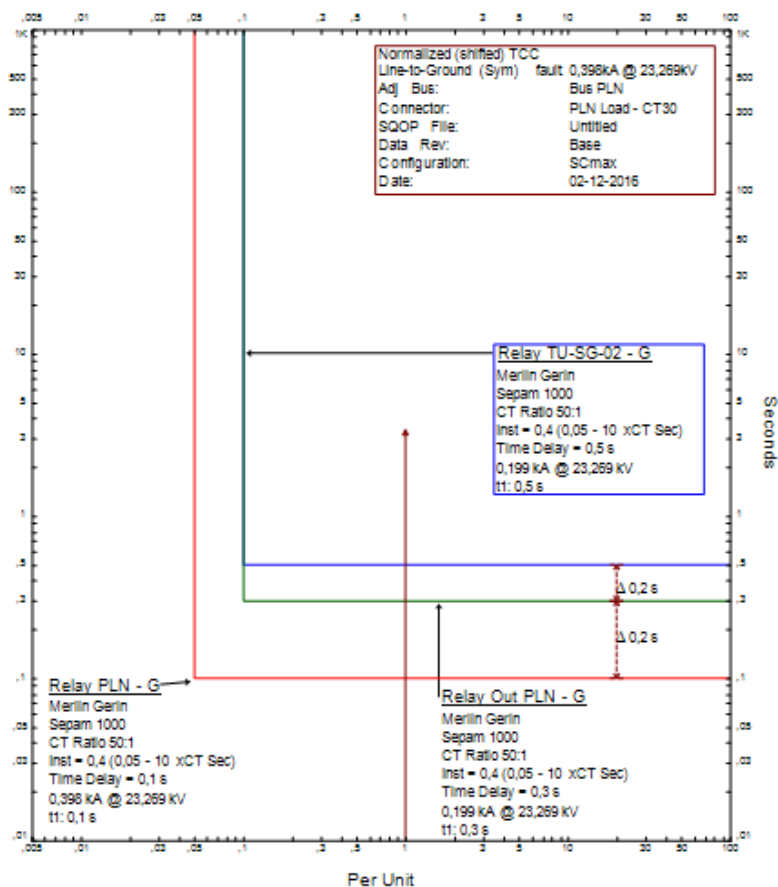
dipilih *tap* = 0,4 I_n

dengan $I_{set} = 20\text{ A}$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,5 detik

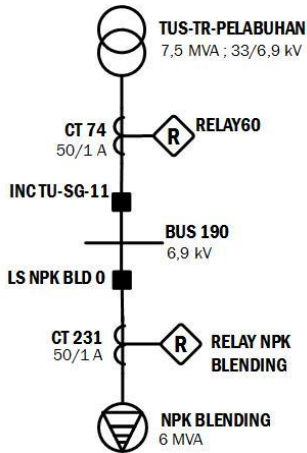
Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* dimana Relay PLN bekerja terlebih dahulu dan Relay Out PLN dan Relay TU-SG-02 bekerja sebagai *backup* saat terjadi gangguan seperti pada gambar 4.33.



Gambar 4. 38 Time-Current Characteristic Curve resetting Tipikal 5

4.4.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Tanah Tipikal 6

Tipikal 6 mempunyai level tegangan 6,9 kV. *Setting Relay* pada tipikal ini mengikuti NGR TRAFO TU-TR-03. Rangkaian *single line diagram* tipikal 6 dapat dilihat pada gambar 4.34



Gambar 4. 39 *Single line diagram* Tipikal 6

RELAY NPK BLENDING

Manufacturer : MERLIN GERIN
Model : SEPAM 1000
CT Ratio : 50/1
 NGR TUS-TR-PELABUHAN : 200 A

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 &I_{sc \text{ unbalance}} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TUS-TR-PELABUHAN} \\
 &5\text{-}10\% \times \text{NGR} & 50\% \times \text{NGR} \\
 &\text{TUS-TR-PELABUHAN} < I_{set} < \text{TUS-TR-PELABUHAN} \\
 &5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\
 &10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\
 &\frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\
 &0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A}
 \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n
 dipilih *tap* = 0,4 I_n
 dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,1 detik

RELAY OUT PLN

Manufacturer : MERLIN GERIN
Model : SEPAM 1000
CT Ratio : 50/1
NGR TUS-TR-PELABUHAN : 200 A

Instantaneous Pickup

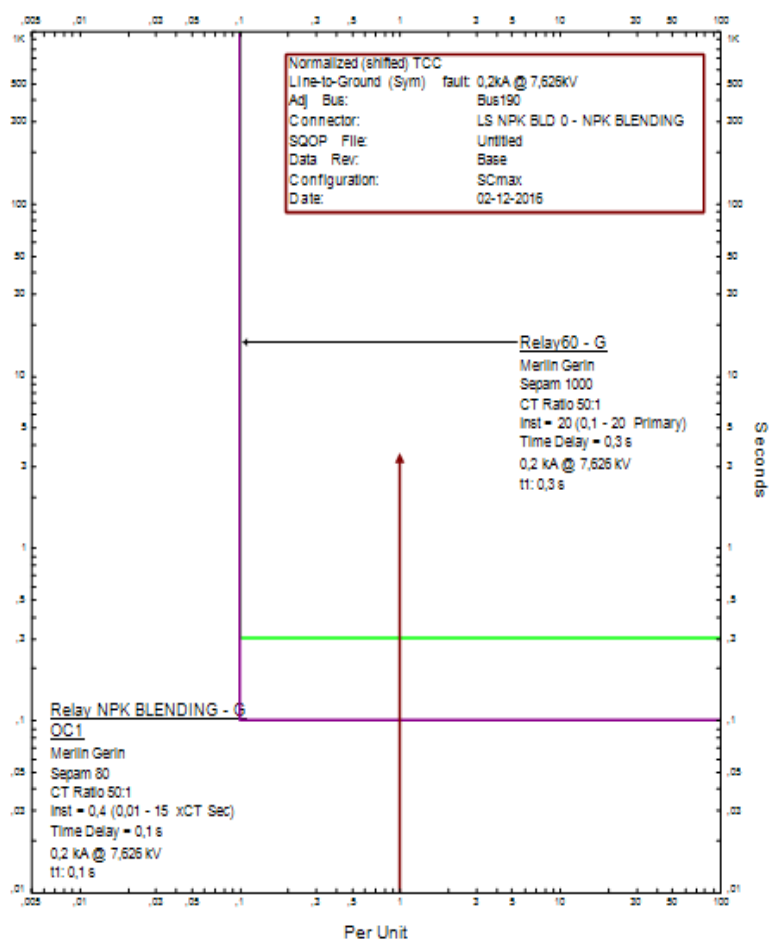
$$\begin{aligned} I_{sc \text{ unbalance}} < I_{set} < 50\% \times \text{NGR TUS-TR-PELABUHAN} \\ 5\% \times \text{NGR} & \qquad \qquad \qquad 50\% \times \text{NGR} \\ \text{TUS-TR-PELABUHAN} < I_{set} < \text{TUS-TR-PELABUHAN} \\ 5\% \times 200 \text{ A} < I_{set} < 50\% \times 200 \text{ A} \\ 10 \text{ A} < I_{set} < 100 \text{ A} \\ \frac{10}{50} I_n < \text{Tap} < \frac{100}{50} I_n \\ 0,2 \text{ A} < \text{Tap} < 2 \text{ A} \end{aligned}$$

memiliki *tap range* : 0,02 - 10 x CT sekunder dengan *step* 0,01 I_n
dipilih *tap* = 0,4 I_n
dengan $I_{set} = 20 \text{ A}$

Time delay

dipilih *time delay* = 0,3 detik

Dari perhitungan rele-rele tersebut didapatkan *Time-Current Characteristic Curve* dimana Relay NPK Blending bekerja terlebih dahulu dan Relay60 akan bekerja sebagai *backup* saat terjadi gangguan seperti pada gambar 4.33.



Gambar 4. 40 Time-Current Characteristic Curve resetting Tipikal 6

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa pada koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah pada *Future New Ring* dan Tursina PT Pupuk Kalimantan Timur, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Setting* dari rele arus lebih, dan rele gangguan ke tanah pada *Future New Ring* sudah bekerja sesuai dengan standar yang berlaku, dan sudah terintegrasi dengan baik oleh sistem eksisting Tursina.
2. Kesalahan koordinasi pada sistem eksisting Tursina rata-rata terletak pada *setting time dial* dan *time delay*. Kondisi *setting* pada eksisting tidak memenuhi standar setelah dilakukan sinkronisasi dengan jaringan pabrik baru, seperti pada Relay Out PLN dan Relay TU-SG-02.
3. Pemasangan Relay NPK BLENDING yang berfungsi sebagai pengaman dari beban NPK BLENDING.
4. Perlu dipasang rele *directional over current* untuk mengamankan sistem Tursina dan *Future New Ring* dari hubung singkat yang sering terjadi diantara Trafo IT Tursina dan Bus TU-SG-01.
5. Rele gangguan ke tanah di *setting* sebesar 20 A berdasarkan *Neutral Grounding Resistor* (NGR) dari trafo dan generator.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diberikan, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Hasil dari laporan tugas akhir ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk *setting* rele pada sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kalimantan Timur.
2. Dalam penelitian selanjutnya dapat menggunakan *artificial intelligence* untuk menentukan nilai *Time Dial Setting* (TDS) yang lebih optimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE Std 242-2001™, *“IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems”*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001
- [2] Charles J. Mozina, Life Fellow IEEE, *Why Upgrade the Protection and Grounding of Generators at Petroleum and Chemical Plants?*, Februari 2012
- [3] Lazar, Irwin. *“Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants”*, McGraw-Hill, Inc, 1980
- [4] Cahier Technique No. 158, *“Calculation of Short-circuit Currents”*, Schneider Electric, 2005.
- [5] Saadat, H., *“Power System Analysis”*, McGraw-Hill, Inc, 1999
- [6] Manohar Singh, B.K. Panigrahi and A. R. Abhyankar, IEEE, *Combined Optimal Distance to Overcurrent Relay Coordination* 2012
- [7] Wahyudi, *“Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik”*, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [8] Trip Curve, *“IEC-SIT-SIT-A-10PU_1”*, Schneider Electric, 2008
- [9] Penangsang, Ontoseno. *“Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2”*, Teknik Elektro ITS, Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Kezia Rut, dilahirkan di Jakarta pada tanggal 12 Juli 1995. Merupakan putri pertama dari tiga bersaudara pasangan Hendarto Sutarman dan Sri Maryati Suwirja. Penulis ini memulai jenjang pendidikan di TK St. Caroline Jakarta pada tahun 1999-2001, SD Marsudirini Jakarta pada tahun 2001-2007, kemudian SMP Marsudirini Jakarta pada tahun 2007-2010, dan SMA Fons Vitae 1 Marsudirini Jakarta pada tahun 2010-2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di kota Surabaya tepatnya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), jurusan S1 Teknik Elektro bidang studi Sistem Tenaga. Selama kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi mahasiswa seperti menjadi Staff Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS 2014/2015 yang kemudian berlanjut menjadi Sekretaris Departemen pada periode 2015/2016, Asisten Praktikum serta menjabat menjadi Sekretaris dan Bendahara di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga, juga sebagai pengurus di Persekutuan Mahasiswa Kristen ITS, serta berpartisipasi dalam berbagai kepanitian acara nasional maupun internasional. Penulis dapat dihubungi melalui email keziarut@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan